



**Technische
Universität
Braunschweig**



Technische Universität Braunschweig | Institut für Baustoffe, Massivbau
und Brandschutz (iBMB) | Beethoventraße 52 | 38106 Braunschweig

Gesamtdokumentation des ZIM-Projekts „Direktverputzte Strohballenbauteile für die Gebäudeklasse 4“

Teilprojekt „Brandschutztechnische Untersuchungen“

Förderkennzeichen: KF 2178804 KI0

Gefördert durch das

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
ZIM – Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand



Bearbeitet durch

TU Braunschweig, iBMB
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß
Dipl.-Ing. Judith Wachtling

Braunschweig, April 2014, Revision April 2019

Dieser Teilbericht umfasst 36 Seiten (inklusive Anhang) und dient der Dokumentation des Kooperationsprojektes. Der Bericht darf – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des iBMB vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
2	Arbeitspaket 1 „Brandversuche an Bauteilausschnitten“	1
2.1	Beurteilungsgrundlagen	1
2.2	Vorgehen und Prüfeinrichtungen	2
2.3	Untersuchung von Lehmbekleidungen.....	5
2.4	Untersuchung von Kalkputzen	10
3	Arbeitspaket 2 „Erarbeitung konstruktiver Detaillösungen“	14
3.1	Angaben zu verwendeten Materialien	14
3.2	Befestigungen an der Außenfassade	15
3.3	Putzabfangungen	16
3.4	Durchführungen.....	16
3.5	Anschluss Lehm – Lehm	17
3.6	Anschluss Lehm – herkömmliche Brandschutzbekleidung (Gips)	18
3.7	Anschluss Lehm – unbedecktes Holzbauteil	18
3.8	Befestigungen in bzw. durch die Lehmbekleidung	19
3.9	Kabel	21
3.10	Weitere Anmerkungen	21
4	Arbeitspaket 3 „Belegversuch im Realmaßstab“	22
5	Arbeitspaket 4 „Vorgaben zur Qualitätssicherung“	26
6	Arbeitspaket 5 „Brandschutzkonzept“	28
7	Arbeitspaket 6 „Wärmeleitfähigkeitsmessungen“	29
8	Arbeitspaket 7 „Hygrothermische Materialkennwerte von Putzen“	30
9	Zusammenfassung der Forschungsarbeiten	30
10	Verwendung der Ergebnisse	31
11	Literatur	32
12	Normen und Rechtsgrundlagen	32
	Anhang: Brandschutzkonzepte.....	A 1

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Rahmen des ZIM-Projektes „Direktverputzte Strohballenbauteile für Gebäude der Gebäudeklasse 4“ sollte die mehrgeschossige Strohballenbauweise untersucht sowie praxisgerechte Bauteile entwickelt und damit die Basis für eine Umsetzung dieser Bauweise gestaltet werden. Beim Bauen mit nachwachsenden, aber brennbaren Baustoffen kommt dem Brandschutz allgemein eine große Bedeutung zu. Als weitere Besonderheit sollten im Projekt Lehm und Kalk als ökologische Alternative zu Standard-Brandschutzbekleidungen entwickelt, untersucht und dimensioniert werden. Unter Mitwirkung der Projektpartner wurden die Brandschutz-Themen als Teilprojekt am iBMB der TU Braunschweig bearbeitet. Die Forschungsergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

2 Arbeitspaket 1 „Brandversuche an Bauteilausschnitten“

2.1 Beurteilungsgrundlagen

Zur Beurteilung der Versuche an Bauteilausschnitten mussten zunächst die Bewertungskriterien festgelegt werden. Die Brandschutzbekleidungen für hochfeuerhemmende Holzbauteile werden auf den Entzündungsschutz des Holzes ausgelegt. Bei der Verwendung brennbarer Dämmstoffe muss zum Erreichen der Schutzziele bereits das Ausgasen vermieden werden [1]. Hierzu ist die Grenztemperatur der thermischen Zersetzung nach dem in [1] beschriebenen Verfahren zu bestimmen. Über Feststellung von Verfärbungen (s. Bild 1) könnte diese für Baustrohballen bei 200 °C festgelegt werden.



Bild 1 Bestimmung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung [2]

Folglich müssen die zu untersuchenden Brandschutzbekleidungen während 60-minütiger Brandeinwirkung das Stroh vor dieser Temperatur schützen. Neben Temperaturmessungen in der Grenzschicht zwischen brennbarem Material und Bekleidung wurden visuelle Kriterien zur Beurteilung festgelegt. Es dürfen keine Verfärbungen am Stroh auftreten.

Im Laufe der Forschungs- und Planungsarbeiten stellte sich heraus, dass auf der Innenseite der Außenwände eine mindesten 18 mm dicke Holzwerkstoffplatte zur Aussteifung des Gebäudes erforderlich ist (s. Kap. 2.3). Damit reduzieren sich die Anforderungen an die Lehm-bekleidung auf die Leistungskriterien für den Schutz von Holzbauteilen (s. Bild 2).

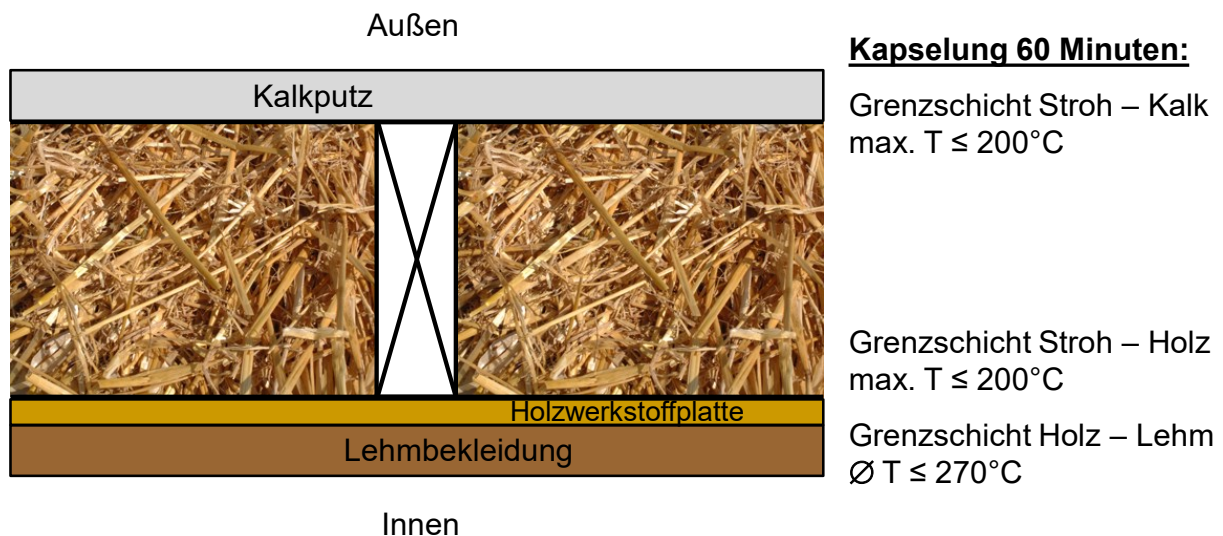


Bild 2 Anforderungen an die Bekleidung eines Strohballebauteils in der GK 4

2.2 Vorgehen und Prüfeinrichtungen

Von Seiten der Putzhersteller gab es verschiedene Lösungsansätze zur Steigerung der Brandschutzleistung von Kalk und Lehm. Um die Vielzahl an Varianten mit unterschiedlichen Putzen, Additiven, Beimischungsverhältnissen und Schichtdicken gegeneinander abzugleichen, wurden zunächst Voruntersuchungen im Labormaßstab durchgeführt. So konnte eine Auswahl für die kostenintensiven Versuche unter Normbrandbedingungen getroffen werden. Die Normbrandversuche erfolgten ebenfalls zunächst im Kleinmaßstab und nur bei positiven Ergebnissen im größeren Maßstab in Anlehnung an die Prüfnorm für Brandschutzbekleidungen. Den Abschluss bildete ein realmaßstäblicher Großbrandversuch (s. Kap. 4).

Im Labormaßstab wurde zur Beurteilung der neuentwickelten Brandschutzbekleidungen hauptsächlich der Wärmedurchgang betrachtet. Bei Normbrandversuchen wurden zusätzlich Verfärbungen an der Unterkonstruktion (Stroh oder Holz) mit beurteilt (s. Kap. 2.3 und 2.4). Die verwendeten Prüfverfahren und Ergebnisse werden im Folgenden genauer vorgestellt. Bei Vergleichen von Temperatur-Zeitkurven wird immer die Kurve des Thermoelements mit den höchsten Temperaturen des jeweiligen Probekörpers herangezogen. Es werden keine Mittelwerte gebildet, da die Messkurven generell sehr nahe beieinander lagen.

Konditionierung der Proben

Für die Versuche im Labormaßstab z. B. Cone-Versuche wurden die meisten Proben im Klimaraum (23°C / 50 % rel. Luftfeuchte) mindestens bis zum Erreichen annähernder Gewichtskonstanz gelagert. Größere Probekörper mit Strohdämmung konnten aufgrund ihrer Abmessungen nicht im Klimaraum gelagert werden und trockneten nach ihrer Herstellung witterungsgeschützt in den Versuchshallen. Es wurde festgelegt, diese möglichst soweit zu trocknen, dass im Stroh eine relative Luftfeuchte von ca. 50 % herrscht.

Cone-Versuche

Beim Cone-Kalorimeter nach ISO 5560 (s. Bild 3) handelt es sich um ein labormaßstäbliches Verfahren. Mit der Heizspirale des Cone-Kalorimeters können Wärmestromdichten vergleichbar zu Normbrandversuchen erzeugt werden (37 bis 45 kW/m² [3]). Im Unterschied zu Normbrandversuchen wird die Wärmestromdichte im Cone-Kalorimeter in der Regel konstant gehalten. Deshalb sind Cone-Ergebnisse nicht direkt auf Versuche unter Normbrandbedingungen mit Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) übertragbar. Die Cone-Versuche dienen der Orientierung und dem Vergleich der Proben untereinander.

Die Prüffläche für Untersuchungen im Cone-Kalorimeter beträgt 10 x 10 cm². Als Abmessungen für die Putz- bzw. Platten-Probekörper wurden aber 16 x 16 cm² gewählt, um Randeffekte möglichst gering zu halten. Zusätzlich sollten um die Probe angebrachte Vermiculit-Platten den Wärmeabfluss behindern. Eine Mineralwolldämmung in einem Vermiculit-Behälter unterhalb der Probe sollte den Wärmeabfluss nach unten behindern und die Dämmwirkung des Strohs simulieren. Zur Temperaturmessung dienten fünf Messfühler auf der Probenunterseite.

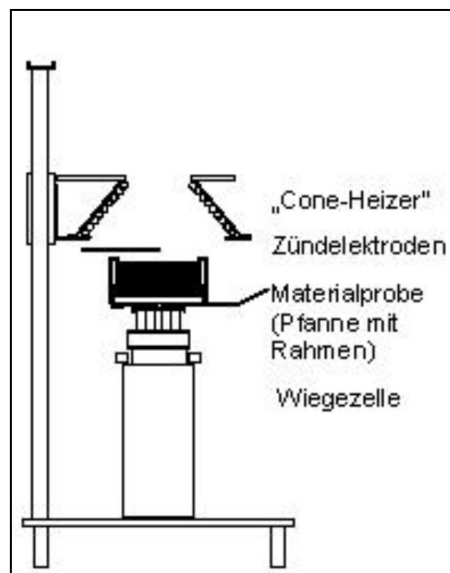


Bild 3 Aufbau Cone-Kalorimeter [1]

Insgesamt wurden über 50 Cone-Versuche an Putz- und Plattenbekleidungen für die vergleichende Analyse durchgeführt. So konnte aus den vielen Varianten eine Vorauswahl für die kostenintensiveren Normbrandversuche getroffen werden. Außerdem konnte mit Hilfe des Cone-Kalorimeters eine Vordimensionierung der erforderlichen Putz- bzw. Plattendicken vorgenommen werden.

Kleinprüfstand

Beim Kleinprüfstand nach DIN 4102 - Teil 8 handelt es sich um den kleinsten am iMBB vorhandenen Brandofen, in dem über einen Ölbrenner die Einheits-Temperaturzeitkurve gesteuert werden kann. Im Gegensatz zur Normprüfung für Brandschutzbekleidungen wird im Kleinprüfstand kein Deckenbauteil geprüft. Die Bauteilausschnitte für Untersuchungen im Kleinprüfstand werden vertikal eingebaut und sind kleiner. Die Probekörper wurden mit einer Fläche von 50 x 50 cm² hergestellt, damit sie an den Prüfstand mit einer Prüffläche von ca. 45 x 45 cm² gedrückt werden konnten (s. Bild 4).



Bild 4 Kleinprüfstand nach DIN 4102-8

Trotz der kleineren Prüffläche und anderen Einbaubedingungen eignet sich der Kleinprüfstand für Voruntersuchungen, weil die Prüfungen unter Normbrandbedingungen durchgeführt werden, aber weniger aufwändig und damit kostgünstiger sind als bei größeren Prüfungen.

Deckenbrandhaus

Im kleinen Deckenbrandhaus können Decken- und Wandbauteile untersucht werden. Es hat eine Grundfläche von 1 x 1,5 m² und eine Höhe von 1,5 m. Weitere Details können Bild 5 und Bild 6 entnommen werden.

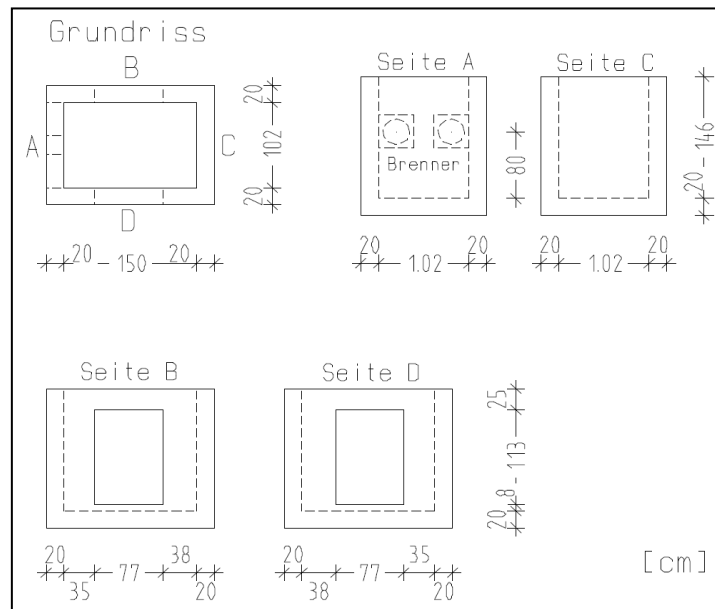


Bild 5 Aufbau des kleinen Deckenbrandhauses [4]



Bild 6 *links: Ansicht des kleinen Deckenbrandhauses;
rechts: Blick von oben in die Brandkammer*

Über zwei Ölbrenner kann die ETK gesteuert und Normbrandversuche durchgeführt werden. Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts sollten in Anlehnung an die Prüfnorm für Brandschutzbekleidungen DIN EN 14135 (mit reduzierter Prüffläche) erfolgen. So wurden Versuche an Probekörpern mit Abmessungen von $1,7 \times 1,14 \text{ m}^2$ als Deckenbauteile in diesem Ofen durchgeführt. Die Prüfung als Deckenbauteil stellt hinsichtlich der Haftung der Putzschicht den ungünstigsten Fall dar und deckt somit die Anwendung als Wandbauteil auf der sicheren Seite mit ab.

Bei der Untersuchung von Brandschutzbekleidung ist u. a. der Wärmedurchgang entscheidend. In Anlehnung an die Prüfnorm erfolgten die Temperaturmessungen unterhalb der Brandschutzbekleidung. Zum Vergleich von Temperatur-Zeitkurven wird im Folgenden immer die Kurve des Thermoelements mit den höchsten Temperaturen des jeweiligen Probekörpers herangezogen. Es werden keine Mittelwerte gebildet, denn die Messkurven lagen in den meisten Fällen nahe beieinander.

2.3 Untersuchung von Lehmbeleidungen

Als Referenz für die neuentwickelten Lehmbeleidungen wird Strohlehmputz und mineralischer Lehmputz mit einer Rohdichte von 1.800 kg/m^3 (Herstellerangabe) in Stärken von 6 cm herangezogen. Wie nach Voruntersuchungen [2] zu erwarten, wurden 200°C an der Probenunterseite bereits vor 60 Minuten Wärmeeinwirkung erreicht. Ergänzend wurde Strohlehmputz (auch als Oberputz grob bezeichnet) ebenfalls mit einer Rohdichte von 1.800 kg/m^3 (Herstellerangabe) und 6 cm Dicke untersucht. Erwartungsgemäß stellt sich die brandschutztechnische Leistungsfähigkeit ähnlich dem mineralischen Lehmputz dar (Bild 7). Der neuentwickelte Lehmputz mit Brandschutzzuschlag (Additiv) weist mit rund 650 kg/m^3 eine deutlich geringere Rohdichte auf als die verstehend betrachteten klassischen Lehmputze. Die Wirkung des Brandschutzzuschlages in einer ebenfalls 6 cm dicken Probe kann dem folgenden Diagramm (s. Bild 7) entnommen werden.

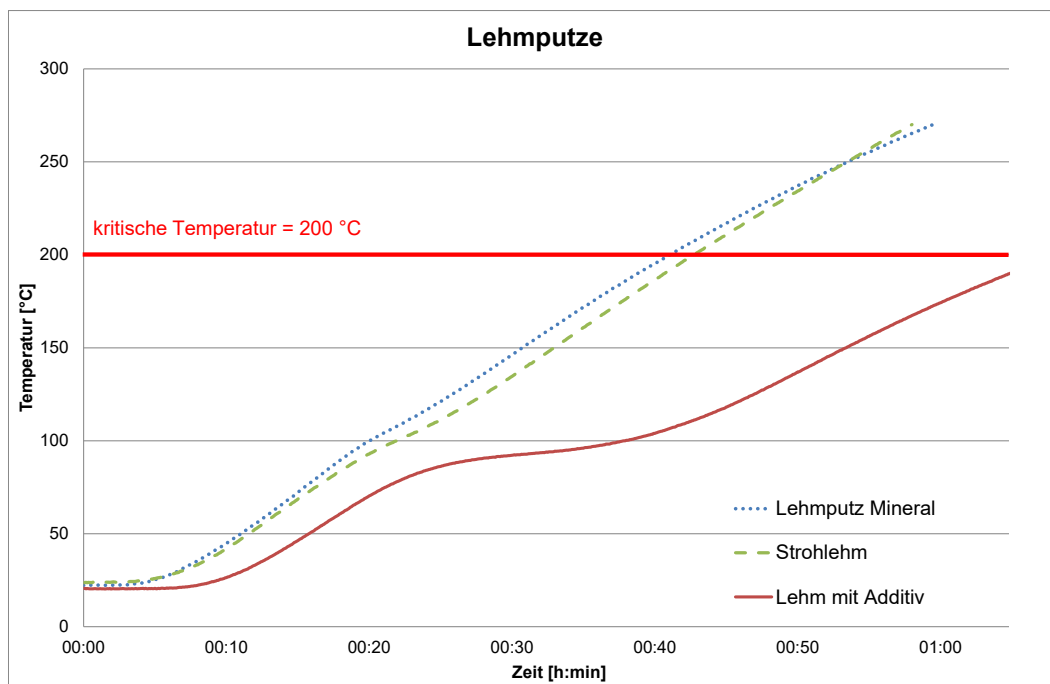


Bild 7 Cone-Ergebnisse verschiedener Lehmputze

Putzschichtdicken von mehr als 6 cm werden aus technischen und wirtschaftlichen Gründen als Herstellungsgrenze angesehen. Diese Grenze lässt sich, wenn überhaupt, nur mit dem Lehmputz mit Brandschutzadditiv einhalten. In Absprache mit den Projektpartnern wurde beschlossen, Lehmplatten als Teilersatz für die dicke Lehmputzschicht zu untersuchen. Diese bieten neben einem geringeren Feuchteeintrag in das Bauteil bessere Möglichkeiten im Bereich der Qualitätssicherung. Vom Projektpartner Claytec wurden eine Lehmplatte mit Leichtzuschlag und eine Lehmplatte mit Brandschutzadditiv entwickelt.

Des Weiteren stellte sich heraus, dass aus statischen Gründen eine Beplankung zur Aussteifung des Holztragwerks mehrgeschossiger Strohballenbauten erforderlich ist. Da hierfür Holzwerkstoffplatten verwendet werden sollten, änderten sich die Anforderungen an die Lehmbeleidung. Aus vorherigen Forschungsvorhaben und Untersuchungen [1] ist bekannt, dass bereits eine 8 mm starke Holzwerkstoffplatte in Verbindung mit einer K₂ 60-Bekleidung die Schutzwirkung für das Stroh erfüllt. Folglich gelten für die Lehmbeleidung die Leistungskriterien nach DIN EN 13501-2: Auf der Trägerplatte darf die gemittelte Temperatur um nicht mehr als 250 °C steigen und an keiner Stelle um mehr als 270 °C. Des Weiteren dürfen keine Verfärbungen auftreten.

Die neuentwickelten Lehmplatten wurden zunächst in verschiedenen Stärken brandschutztechnisch im Cone-Kalorimeter untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die 45 mm Lehmplatte mit Leichtzuschlag und rund 1.109 kg/m³ etwas leichter und brandschutztechnisch leistungsfähiger ist als die 40 mm Lehmplatte mit Brandschutzadditiv und einer Rohdichte von rund 1.310 kg/m³ (Bild 8).

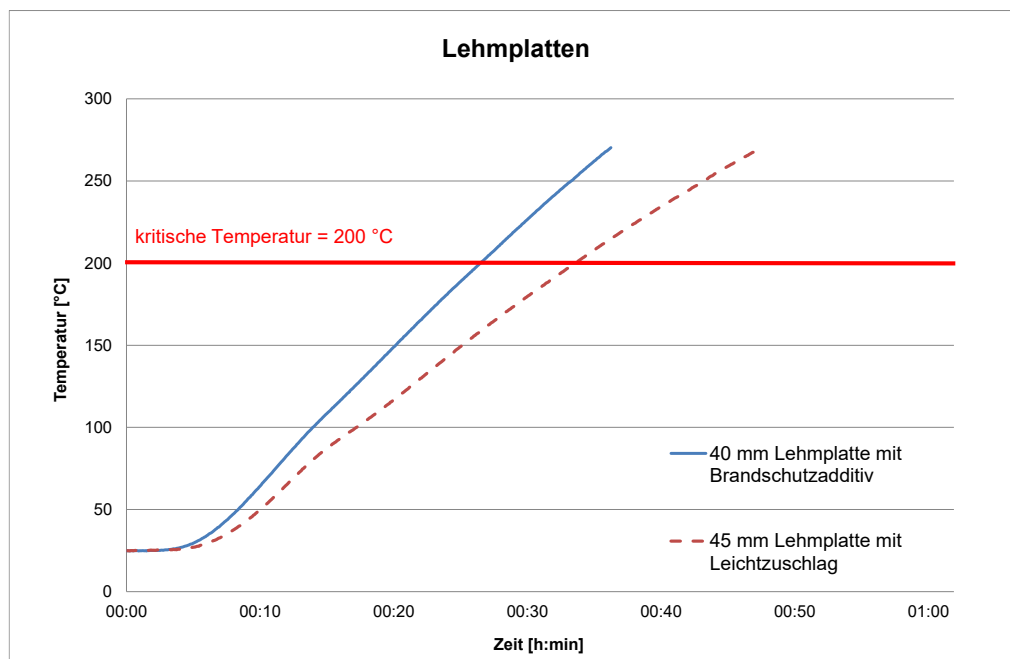


Bild 8 Cone-Ergebnisse der Lehmplatten

Da die Platte alleine das Schutzziel nicht erreicht und die Problematik durchgehender Fugen entstehen würde, wurden verschiedene Putze in unterschiedlicher Stärke auf der Platte untersucht. Die Kombination aus 45 mm Lehmplatte mit Leichtzuschlag und 10 mm mineralischem Lehmputz als Oberputz lieferte vielversprechende Ergebnisse, sodass eine Prüfung unter Normbrandbedingungen angestrebt wurde.

Hierzu wurden auf einer 19 mm starken Spanplatte die neuentwickelten 45 mm dicken Lehmplatten angebracht. Ein ebenfalls neuentwickelter Lehmkleber mit reduziertem Zelluloseanteil wurde eingesetzt, um die Platten vollflächig mit der Spanplatte zu verkleben. Die Fugen zwischen den Platten wurden ebenfalls mit diesem Kleber verfügt. Es ist darauf zu achten, dass die Fugen möglichst dünn aber vollflächig verfüllt sind. Die einzelnen Platten mit Abmessungen von 34 x 60 cm² wurden zusätzlich mit vier Schrauben mit einem Schaftdurchmesser von 3,5 mm befestigt. Geteilte Platten wurden mit je zwei Schrauben fixiert. Um den Temperatureintrag über die Befestigungsmittel beurteilen zu können, wurden die Schrauben zur Befestigung der Lehmplatten in der einen Hälfte des Probekörpers mit der Oberfläche der Platten bündig angebracht und in der anderen Hälfte 15 mm in die Platten versenkt. Um die Schrauben versenken zu können, wurden die Platten mit einem Bohrer (d = 8 mm) ausgefräst. Nach dem Anbringen der Schrauben wurden die Hohlräume mit Putz verfüllt, um die Schrauben zusätzlich thermisch zu schützen. Die Platten wurden anschließend mit 10 mm Lehmputz verputzt. Oberflächennah wurde ein Flachsgewebe eingeputzt, um Trocknungsrisse zu vermeiden. Ein Feinputz wurde nicht aufgetragen, um hier gestalterische Freiheit zu lassen.

Zur Bestimmung der Temperatur wurden in der Grenzschicht zwischen Lehmbeleidung und Spanplatte Thermoelemente angeordnet. Diese befanden sich sowohl im ungestörten Bereich der Platten als auch im Bereich der Fugen.

Ein Normbrandversuch wurde zunächst im Kleinprüfstand nach DIN 4102 - Teil 8 durchgeführt. Aufgrund positiver Ergebnisse erfolgte ein Versuch in Anlehnung an die Klassifizierungsprüfung. Die Temperaturentwicklung in der Grenzschicht zwischen Putz und Holzwerkstoffplatte ist in Bild 9 dargestellt. Während der gesamten Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten wird die Grenztemperatur von 270 °C nicht erreicht. Dies gilt ebenfalls für die hinter den Fugen der Lehmplatten angeordneten Thermoelemente.

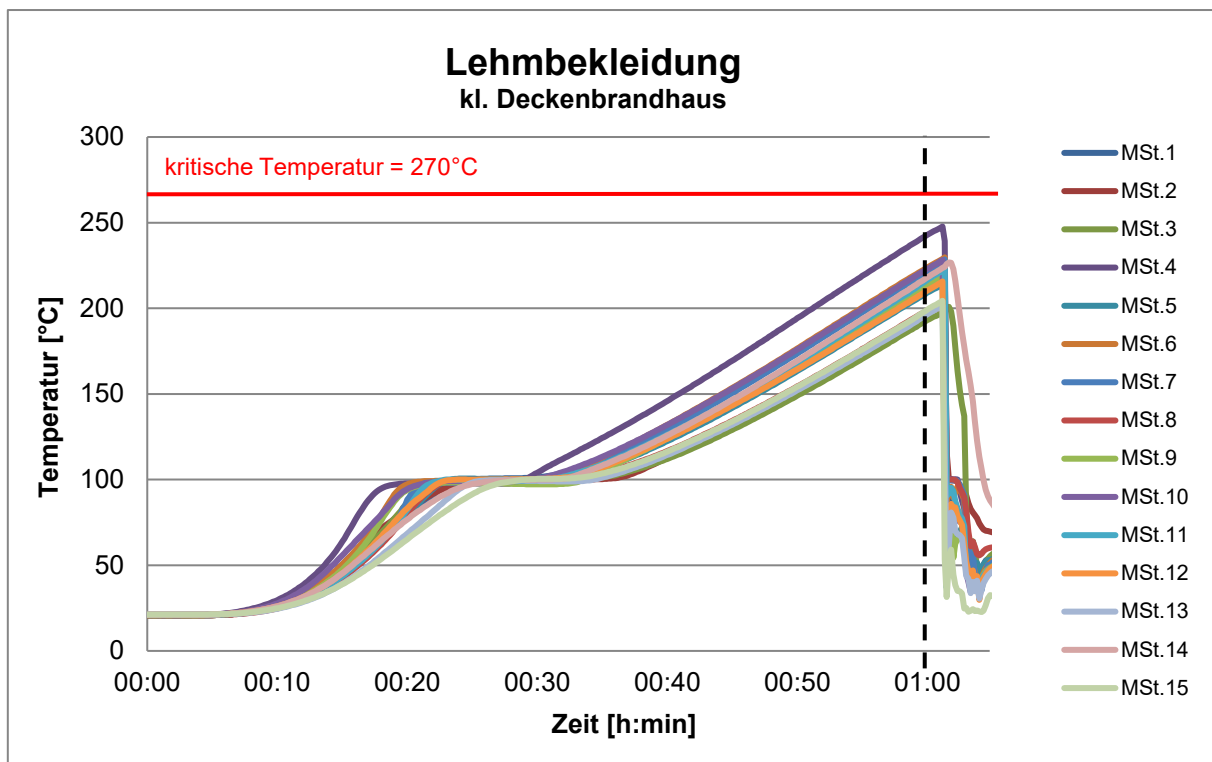


Bild 9 *Temperaturentwicklung in der Grenzsicht Spanplatte – Lehmbelegung*

Nach der Beflammung über die gewünschte Kapselungsdauer von 60 Minuten wurden die Probekörper umgehend vom Ofen abgenommen. Bild 10 zeigt die Oberfläche der Lehmputzschicht direkt nach der 60-minütigen ETK-Beflammung, während das Bauteil vom Brandofen genommen wird. Es ist zu erkennen, dass die Putzschicht intakt ist und keine Risse aufweist.

Nach Kühlung des Probekörpers und Abschlagen der Putzschicht ist erkennbar, dass die Spanplatte bei versenkten Schrauben keine thermischen Schädigungen in Form von Verfärbungen, Verkohlungen oder Verbrennungen aufweist (s. Bild 11). Werden die Schrauben jedoch nicht versenkt und lediglich bündig mit der Plattenoberfläche angeordnet, sind in diesem Bereich punktuelle Verkohlungen erkennbar (s. Bild 11). Damit wurden bei versenkten Schrauben die Anforderungen an eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung in der Qualität K₂ 60 erfüllt.



Bild 10 *Lehmputzschicht nach 60-minütiger ETK-Beflammung*



Bild 11 *Zustand der Spanplatte hinter der Lehmplatte nach 60-minütiger ETK-Beflammung (links Schrauben versenkt, rechts Schrauben nicht versenkt)*

2.4 Untersuchung von Kalkputzen

Auf der Außenseite der Strohballenwände soll Kalkputz verwendet werden, weil dieser einen besseren Witterungsschutz bietet als Lehm. Da in diesem Anwendungsfall die Putzschicht direkt auf das Stroh aufgebracht wird, muss eine Grenztemperatur von 200 °C eingehalten werden (s. o.). Die Verbindungsschicht, in der sich Stroh und Kalkputz vermischen, darf nicht als Bekleidungsdicke angerechnet werden, da Brandschutzbekleidungen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen müssen. Folglich darf nur die reine Kalkputzschicht berücksichtigt werden. Weitere Angaben zur Ausführung und Qualitätssicherung der Kalkputzschicht sind in Kapitel 5 enthalten.

Auf Basis der Ergebnisse der Voruntersuchungen im Cone-Kalorimeter, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie [2] durchgeführt wurden, wurde ein Leichtkalkputz des Projektpartners Endress mit einer Stärke von 6 cm erfolgreich im Kleinprüfstand nach DIN 4102 - Teil 8 unter Normbrandbedingungen geprüft. Aufgrund positiver Ergebnisse folgte ebenso wie bei den Lehmbekleidungen ein Versuch im kleinen Deckenbrandhaus in Anlehnung an die Prüfung nach DIN EN 14135 zur Klassifizierung als Brandschutzbekleidung. Die Ergebnisse sind in Bild 12 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Grenztemperatur der thermischen Zersetzung bei 60-minütiger ETK-Beflammung nicht erreicht wird.

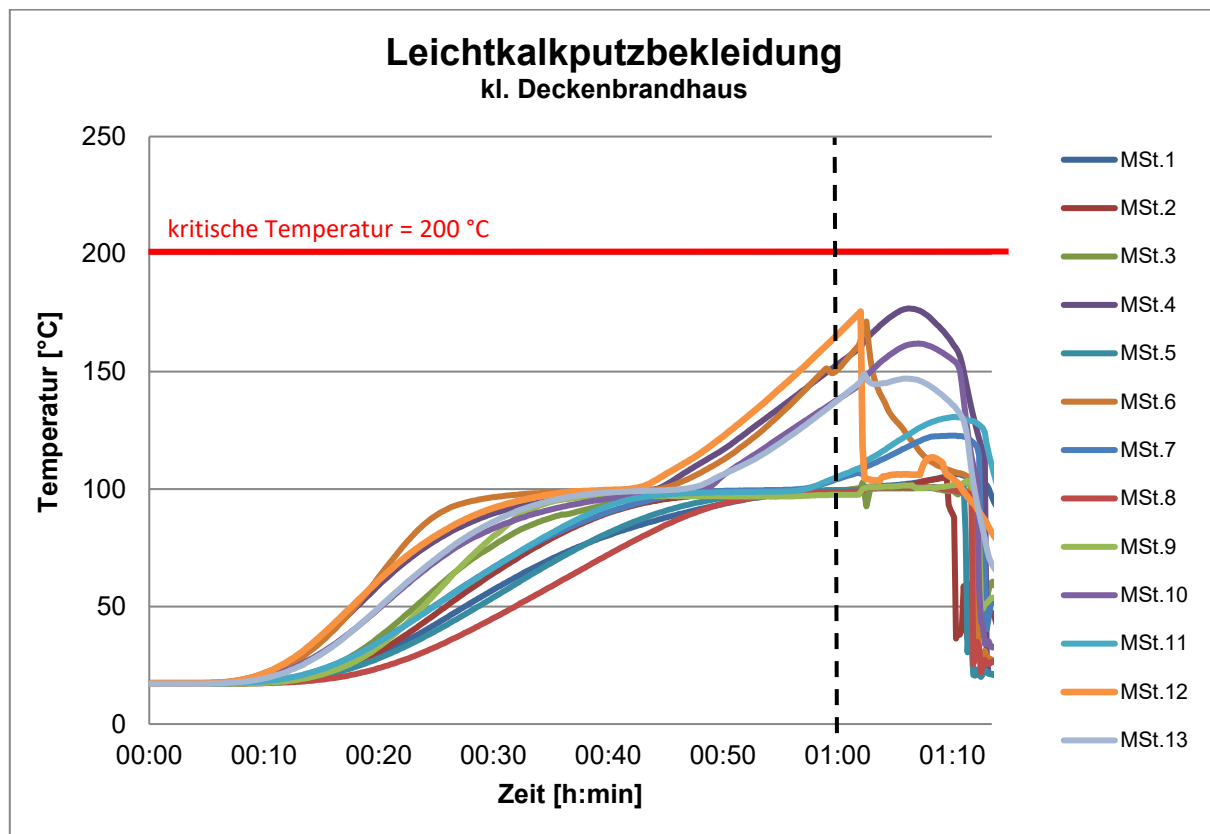


Bild 12 Temperaturentwicklung in der Grenzschicht Stroh – Leichtkalkputz

Außerdem konnten während und nach der Prüfung keine Risse oder sonstigen Schädigungen des Putzes beobachtet werden (s. Bild 13 oben). Nach dem Versuch wurde der Probekörper mit Wasser gekühlt, der Putz abgeschlagen und es erfolgte die visuelle Prüfung, bei der keine Verfärbungen am Stroh festgestellt werden konnten (s. Bild 13 unten). Somit konnte gezeigt werden, dass der erweiterte Entzündungsschutz über 60 Minuten mit dem direkt aufgetragenen 6 cm dicken Leichtkalkputz sichergestellt werden kann.



Bild 13 *Zustand des Putzes und des Strohs direkt hinter der Putzschicht nach dem Brandversuch*

Zur Optimierung der Schichtstärke wurde der Putz durch Zugabe von Additiven weiterentwickelt. Mit diesen neuentwickelten Baustoffen wurden zunächst wieder brandschutztechnische Voruntersuchungen im Labormaßstab im Cone-Kalorimeter unter konstanter Wärmestromdichte durchgeführt, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Untersucht wurde u. a. der Leichtkalkputz mit zwei verschiedenen Additiven in unterschiedlichen Putzdicken. Diese Putzaufbauten konnten unterschiedlich lange Schutz vor einer Erwärmung auf 200 °C bieten. Das zweite Additiv zeigte keine nennenswerte Wirkung, wie Bild 14 entnommen werden kann.

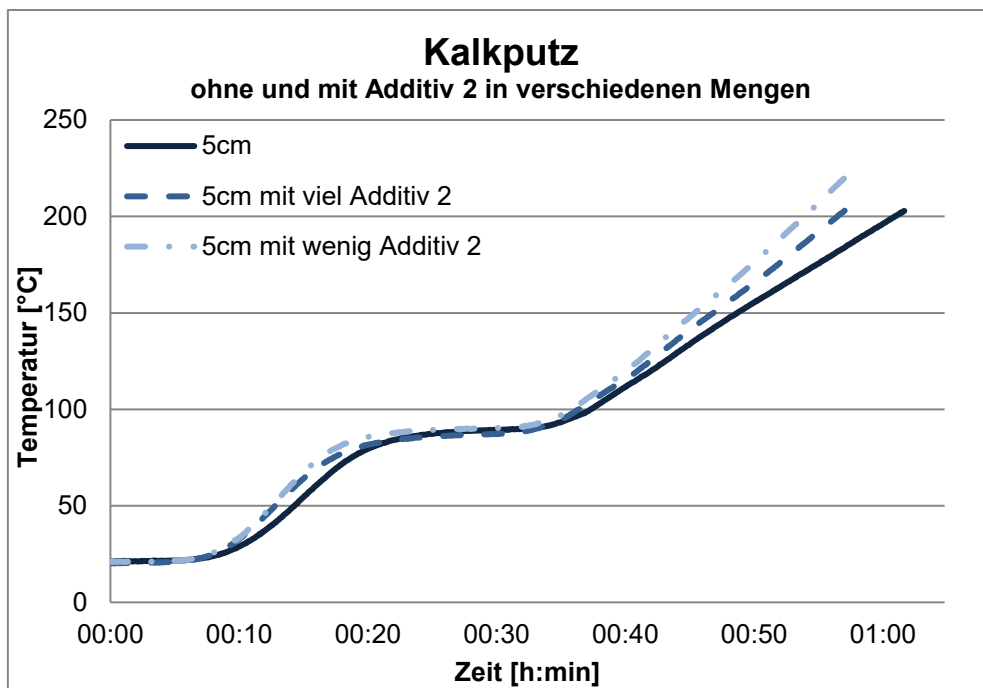


Bild 14 Vergleich von Kalkputzen mit und ohne Additiv 2

Im Gegensatz zum Additiv 2 zeigte sich beim Additiv 1 eine deutliche Verbesserung der Brandschutzeigenschaften des Putzes. Das Additiv 1 wurde ebenfalls in unterschiedlichen Mengen dem Putz beigefügt und brandschutztechnisch untersucht (s. Bild 15).

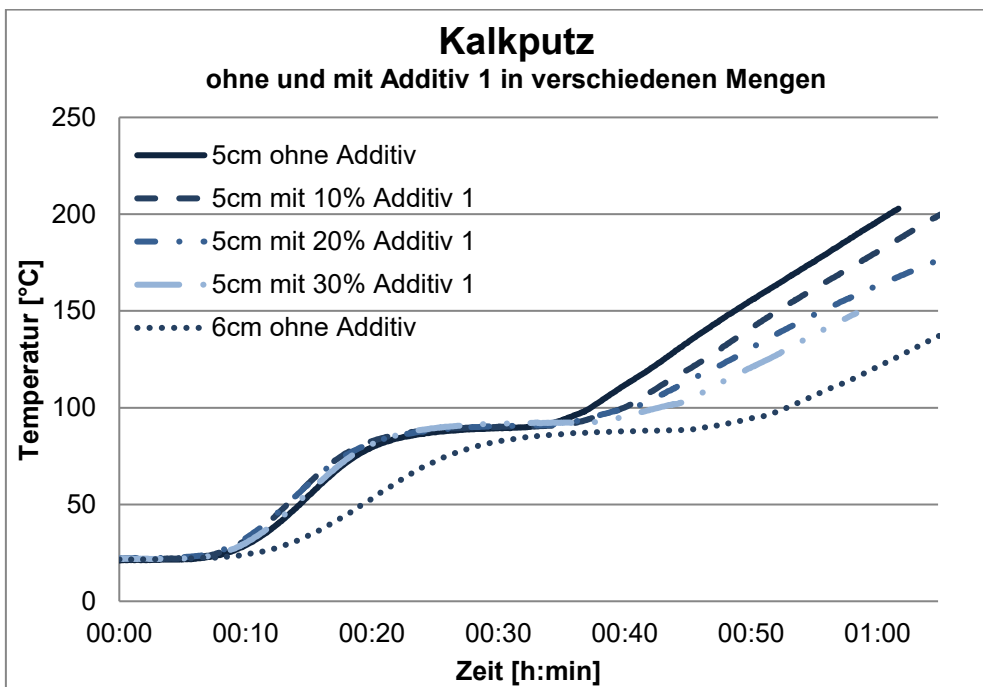


Bild 15 Vergleich von Kalkputzen mit und ohne Additiv 1

Bild 15 veranschaulicht außerdem, dass eine Erhöhung der Putzstärke um einen Zentimeter einen größeren Einfluss auf die Brandschutzwirkung hat als die Zugabe des Additivs. Trotzdem wiesen diese Voruntersuchungen auf einen ausreichenden Schutz durch 5 cm Leichtkalk mit 20 % Additiv 1 hin. Versuche mit 4 cm dicken Proben zeigten, dass die

Schutzwirkung trotz Additiv bei weiterer Reduzierung der Schichtdicke nicht ausreicht. Um die Leistungsfähigkeit des Leichtkalkputzes in einer Stärke von 5 cm mit 20 % Additiv 1 zu überprüfen, wurde ein Normbrandversuch im Kleinprüfstand mit ebenfalls positivem Ergebnis durchgeführt (s. Bild 16).

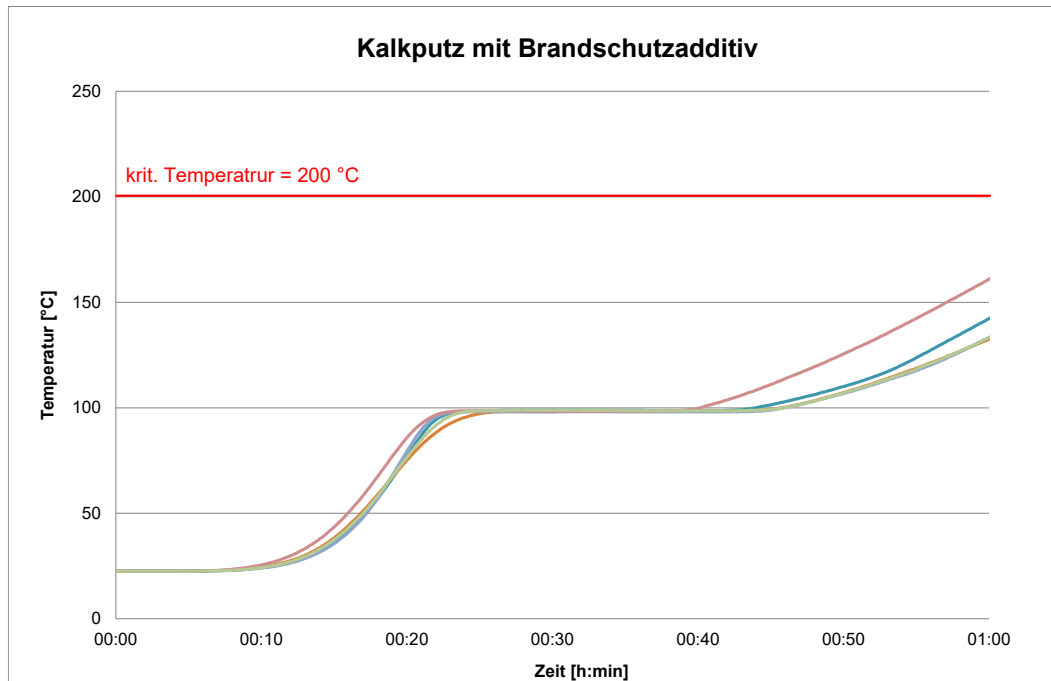


Bild 16 *Temperaturentwicklung in der Grenzschicht Stroh – Leichtkalkputz (5 cm) mit Additiv im Kleinprüfstand*

Nach diesem Versuch wurden wieder die Putzschicht und das Stroh überprüft. Es konnten keine Risse in der Putzschicht und keine Verfärbungen des Strohs festgestellt werden (siehe Bild 17).



Bild 17 *Zustand des Putzes und des Strohs direkt hinter der Putzschicht nach dem Brandversuch im Kleinprüfstand*

Trotz dieser positiven Vorversuche wurde die Prüfung im kleinen Deckenbrandhaus in Anlehnung an DIN EN 14135 nicht bestanden. Bild 18 zeigt, dass die Temperaturgrenze von 200 °C bereits vor der eigentlichen Versuchsdauer von 60 Minuten überschritten wurde.

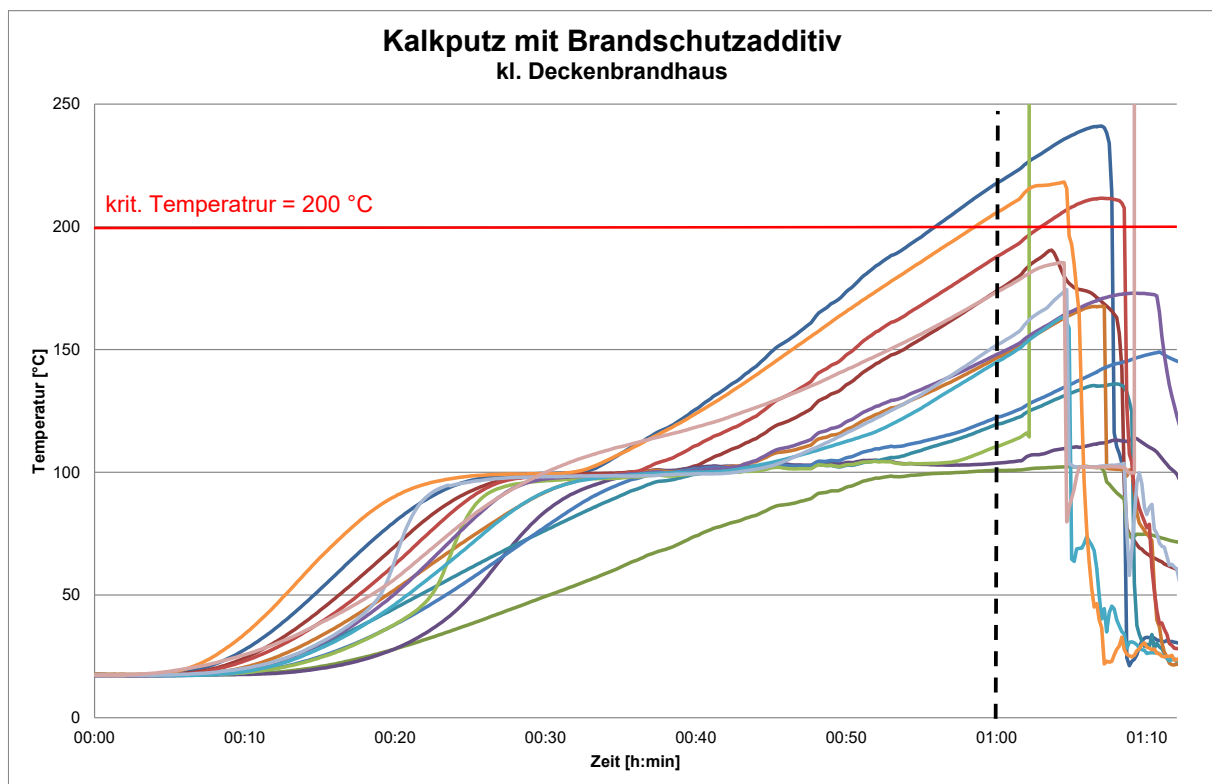


Bild 18 *Temperaturentwicklung in der Grenzschrift Stroh – Leichtkalkputz (5 cm) mit Additiv im kl. Deckenbrandhaus*

Systematische Fehler bei der Versuchsdurchführung erschienen unwahrscheinlich, konnten aber auch nicht ausgeschlossen werden, weshalb ein Wiederholungsversuch durchgeführt wurde. Dieser bestätigte das negative Ergebnis (s. Bild 19). Folglich kann nur der 6 cm starke Leichtkalkputz als ausreichend leistungsfähig angesehen werden, um den Schutz der Strohbälle bei einer Brandeinwirkung über 60 Minuten sicherzustellen.

Neben den Untersuchungen mit Leichtkalkputz wurde ebenfalls Luftkalkputz in verschiedenen Dicken und mit unterschiedlichen Mengen beider Brandschutzadditive im Cone-Kalorimeter untersucht. Nachdem der Leichtkalkputz von der Universität Kassel, dem Projektpartner für bauphysikalische Analysen, als geeignet bewertet wurde, wurden die weiteren Untersuchungen auf diesen Putz ausgerichtet, da er einige Vorteile im Vergleich zum Luftkalkputz aufweist, beispielsweise bei der Verarbeitung.

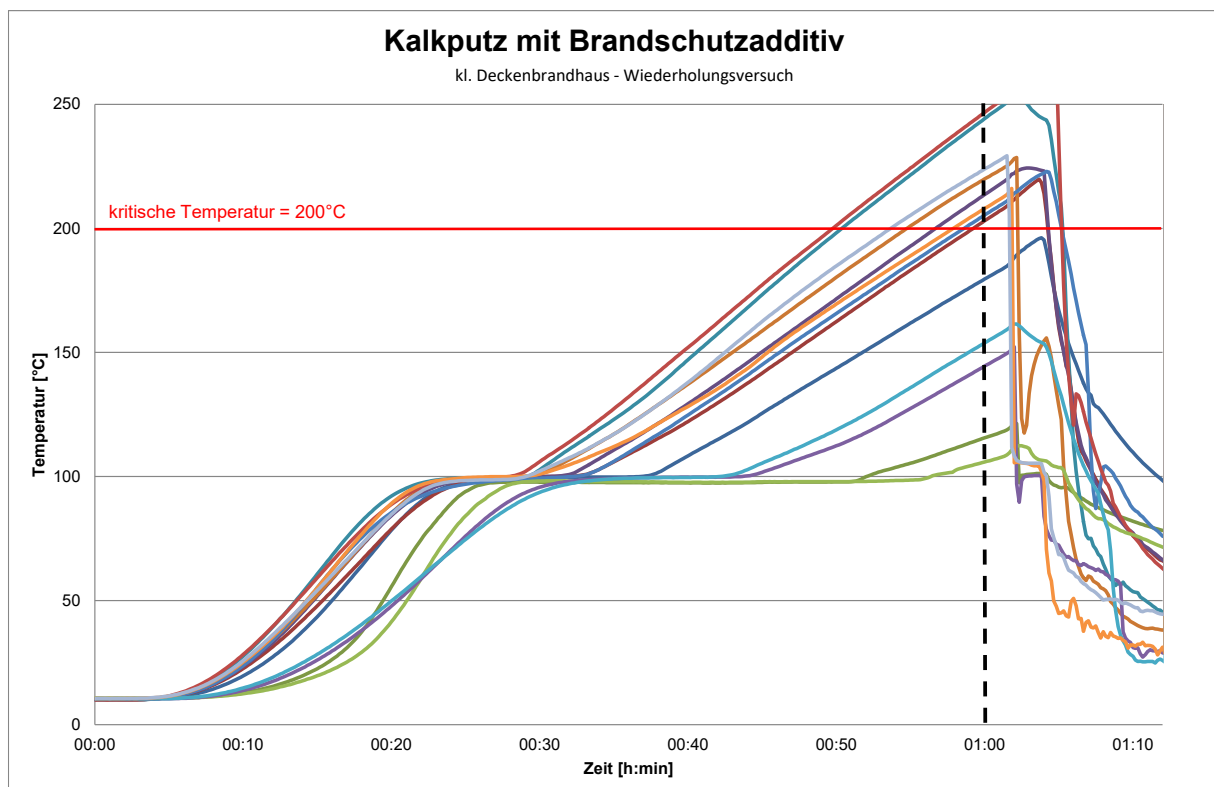


Bild 19 Wiederholungsversuch 5 cm Kalkputz mit Additiv im kl. Deckenbrandhaus

3 Arbeitspaket 2 „Erarbeitung konstruktiver Detaillösungen“

Bei den entwicklungsbegleitenden Brandprüfungen (s. Kap. 2) wurden flächige Brandschutzbekleidungen untersucht. Die Ausführung in realen Gebäuden beinhaltet aber auch komplexere Einsatzbereiche, für die Detaillösungen entwickelt werden sollten. Es wurden verschiedene konstruktive Detaillösungen entworfen und Prüfkörper angefertigt, um sie in Brandversuchen im Kleinmaßstab zu überprüfen. Für diese Brandversuche wurden dieselben Beurteilungskriterien herangezogen wie für die Bauteiluntersuchungen im Kap. 2: Temperaturkriterien in der Grenzschicht zwischen brennbarem Material und Bekleidung sowie die visuelle Prüfung auf Verfärbungen. Je nach Fragestellung wurden zusätzlich Rauchdichtemessungen während des Brandversuchs durchgeführt, die ebenfalls zur Bewertung herangezogen wurden. Für die wichtigsten Detailfragestellungen konnten Lösungen entwickelt werden, mit denen die vorgenannten Bewertungskriterien erfüllt werden. Bei einigen untergeordneten Fragestellungen besteht noch Klärungs- bzw. Optimierungsbedarf. Auf die untersuchten Details wird im Folgenden näher eingegangen.

3.1 Angaben zu verwendeten Materialien

Neben den in Arbeitspaket 1 (s. Kap. 2) untersuchten Brandschutzbekleidungen ist für die Entwicklung von Detaillösungen der Einsatz weiterer Materialien zu betrachten. Die Materialkombinationen und ihre Wirkungsweisen werden in den nachstehenden Unterkapiteln für die entsprechenden Details erläutert. Bezüglich bereits bekannter Brandschutzbekleidungen ist festzuhalten, dass eine Recherche zu K₂ 60-Bekleidungen folgende am Markt gängige Kombinationen ergab:

- 2 x 18 mm Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF),
- 2 x 18 mm Gipsfaserplatten (GF).

Auf Anfrage wurde von der Firma Promat das positive Ergebnis einer orientierenden K₂ 60-Püfung für ein System aus 15 mm Promaxon Typ A mit 15 mm Promatect-H zur Verfügung gestellt. Deshalb wird diese Ausführung im Folgenden ebenfalls betrachtet.

Bei einer Anwendung dieser Bekleidungen in Verbindung mit Putzen (ggf. auch im Außenbereich), ist die Feuchteempfindlichkeit der Platten von großer Bedeutung. Lediglich Promatect-H wird als feuchteunempfindlich vom Hersteller beschrieben [5]. Da Promatect-H eine geringere Wärmeleitfähigkeit aufweist als Promaxon Typ A [5], liegt die Vermutung nahe, dass Promatect-H als Brandschutzbekleidung leistungsfähiger ist. In einem Brandversuch im Rahmen des Projektes zeigte sich, dass die Kombination aus 2 x 15 mm Promatect-H nicht K₂ 60-äquivalent ist. Da die Untersuchung verschiedener Plattenbekleidungen nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens ist, sondern der Fokus auf Lehm- und Kalkbekleidungen liegt, wurden keine weiteren Platten untersucht.

Gipsplatten werden von den Herstellern meist nicht für die Anwendung im Außenbereich empfohlen. Der Feuchteintrag auf der Außenseite bei Bewitterung ist auch bei eingeputzten Platten kritisch zu sehen (s. Kap. 3.2), ebenso der direkte Kontakt mit dem feuchten Putz beim Verputzen. Letzteres betrifft Außen- und Innenbereich. Die beiden K₂ 60 geprüften Systeme aus Gipsfaser- bzw. Gipskartonbauplatten wurden trotz ihrer Feuchteempfindlichkeit für die weiteren Detailentwicklungen verwendet, da derzeit keine weiteren Systeme auf dem Markt zur Verfügung stehen. Bei den Probekörpern für die Brandversuche gab es keine feuchtetechnischen Probleme. Damit die Gipsplatten dem Putz möglichst wenig Wasser entziehen und zur Verbesserung der Haftung, wurde die Universalgrundierung (Grobkorn) des Projektpartners Claytec vor dem Verputzen mit Lehm eingesetzt. In Kalk einzuputzende Platten wurden mit Rabolin 210 vorbehandelt.

3.2 Befestigungen an der Außenfassade

Auf der Außenseite der Strohballenwände sind Befestigungen z. B. von Fallrohren wesentliche zu betrachtende Details. Die Brandschutzbekleidung durchdringende Befestigungen sind nur im Bereich des Holztragwerks möglich, damit die Kräfte dort eingeleitet werden können. Der von Seiten des Brandschutzes entwickelte Lösungsansatz beruht auf dem Prinzip der „Überdämmung“. Bereits als leistungsfähig (K₂ 60) ausgewiesene Bekleidungen sollen im Bereich der Befestigungen durch zusätzliches Material überdämmt werden, um der Schwächung und Temperatureinleitung durch das Befestigungsmittel entgegenzuwirken. Konkret sollten bereits K₂ 60-geprüfte Gipsfaserplatten auf die Holzständer angeschraubt und eingeputzt werden (s. Bild 20).

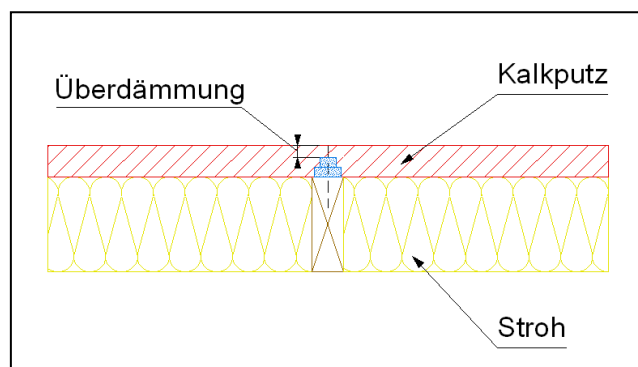


Bild 20 Befestigung durch Kalkputz

Bezüglich des Feuchteschutzes ist diese Lösung problematisch, da die Platten eine Wärmebrücke bilden und es laut Simulation der Uni Kassel, dem Projektpartner für Bauphysik, beim an den Holzständer angrenzenden Stroh zur Schimmelpilzbildung käme. Für Platten mit besseren Feuchteschutzeigenschaften liegen leider keine Angaben zur Brandschutzwirkung vor. Untersuchungen solcher Platten konnten im Projektumfang nicht durchgeführt werden.

Als konstruktiver Lösungsansatz sollten (Fallrohr-) Befestigungen in ausreichendem Abstand zu Fenstern angebracht werden. Bei einem Raumbrand, der über ein Fenster nach außen schlägt, ist eine Brandweiterleitung in die Konstruktion über Befestigungsmittel in Fensternähe durch entsprechenden Abstand zu verhindern.

3.3 Putzabfangungen

Aus den Brandversuchen an Bauteilausschnitten (s. Kap. 2) folgt für die Außenseite der Strohballenwände eine erforderliche Kalkputzschicht von bis zu 6 cm. Für diese große, unübliche Schichtdicke liegen nur wenige Erfahrungen hinsichtlich Haftzugfestigkeit, Dauerhaftigkeit usw. vor. Deshalb wurde unter den Projektpartnern der Einsatz sogenannter Putzabfangungen (s. Bild 21) erörtert, durch die eine gesicherte Verbindung zwischen Tragkonstruktion und Putz hergestellt werden soll. Verschiedene mögliche Ausführungen von Putzabfangungen wurden diskutiert und in einem Brandversuch eine Variante mit einer 19 mm starken Faserzementplatte (nichtbrennbar) untersucht. Die Platte wurde mit zwei Schrauben an einem Holzständer befestigt und in die 5 cm dicke Brandschutzbekleidung aus Leichtkalkputz mit Brandschutzadditiv eingeputzt. Der Brandversuch wurde im kleinen Deckenbrandhaus durchgeführt. Obwohl der Versuch in Bezug auf den Putz mit Additiv und reduzierter Schichtdicke als nicht bestanden gewertet werden musste (s. Kap. 2.4), lässt sich für die Putzabfangung festhalten, dass sie sich nicht negativ auf das Testergebnis ausgewirkt hat. Im Bereich der Abfangung sind vor, während und nach dem Brandversuch keine Risse aufgetreten. Die Temperaturmessungen unter der Platte lagen deutlich unterhalb der anderen Messungen und auch die Messungen im Übergangsbereich zwischen Putz und Platte wiesen keine Auffälligkeiten auf.



Bild 21 Putzabfangung

3.4 Durchführungen

Bei Wanddurchdringungen beispielweise für Rohrdurchführungen sollte ein Porenbetonstein zum Schutz der brennbaren Konstruktion eingesetzt werden. Die Porenbetonfüllung zwischen Durchführung (Loch) und der Holzauswechslung, sollte mindestens 12,5 cm betragen.

Schließt der Porenbeton bündig mit der Holzwerkstoffplatte ab (s. Bild 22), lassen sich die Lehmplatten direkt auf den Porenbeton kleben und schrauben. Diese Ausführungsvariante wurde in einem Brandversuch positiv bewertet. Auf der Kalkseite ist zur Verbesserung der Haftung zwischen Putz und Porenbeton ggf. ein Putzträger zu verwenden.

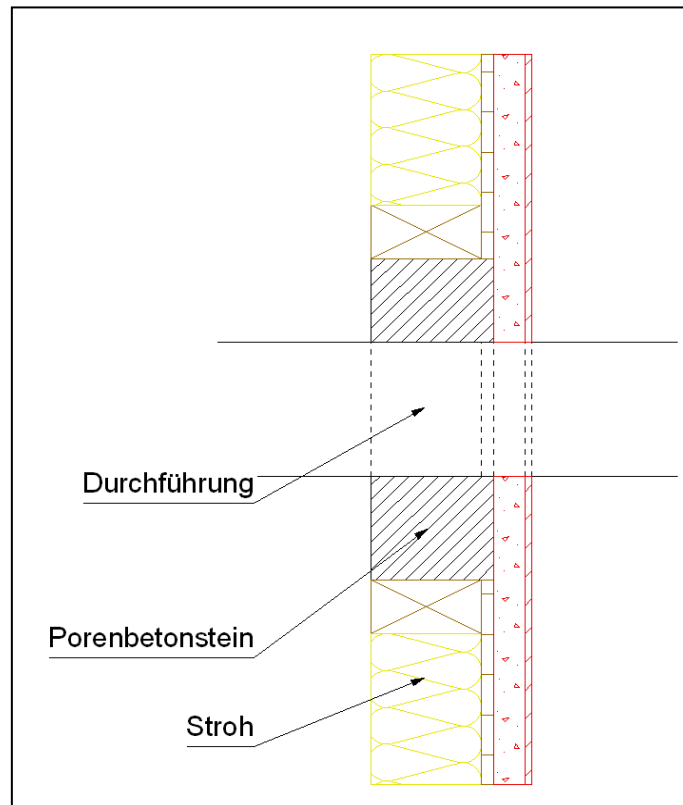


Bild 22 Durchföhrung mit Porenbeton

Ein weiterer Lösungsansatz könnte darin bestehen, die Holzauswechslung des Durchföhrungsbereichs mit Gipsplatten (K₂ 60) auszukleiden. Allerdings müsste der Übergang zwischen Gips- und Lehm- bzw. Kalkbekleidung noch genauer untersucht werden. Vorversuche im für das Projekt vertretbaren Umfang lieferten zu dieser Ausführung keine eindeutigen Ergebnisse.

3.5 Anschluss Lehm – Lehm

Der Anschluss zwischen lehmbeleideten Wänden bzw. Wand und Decke wurde über einen Prüfkörper mit einem Vorbau (s. Bild 23) untersucht. Die Temperaturgrenzen wurden während des Brandversuchs eingehalten und es konnten keine Verfärbungen auf der Holzwerkstoffplatte festgestellt werden.

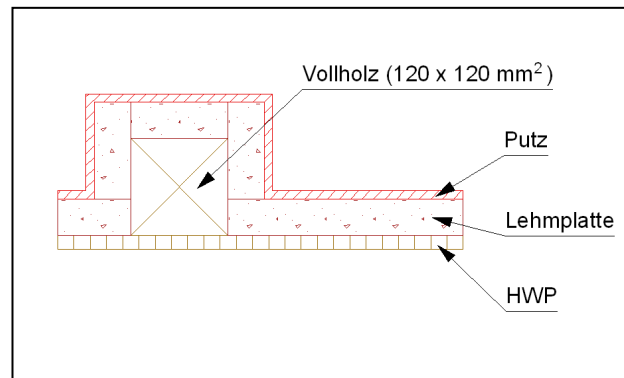
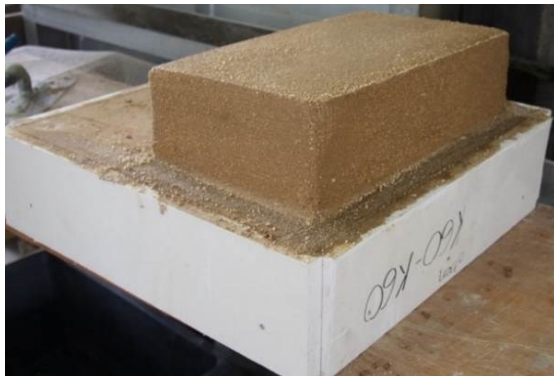


Bild 23 Anschluss Lehm – Lehm

3.6 Anschluss Lehm – herkömmliche Brandschutzbekleidung (Gips)

Da ein nur teilflächiger Einsatz der Lehmbelegung auch denkbar ist, wurde der Anschluss zwischen Lehmbelegung auf einem Bauteil zu einem anderen Bauteil mit herkömmlicher Brandschutzbekleidung (Gipsfaser- bzw. Gipskartonfeuerschutzplatten) untersucht. Hierzu wurde ebenfalls ein Prüfkörper mit Vorbau gewählt (s. Bild 24).

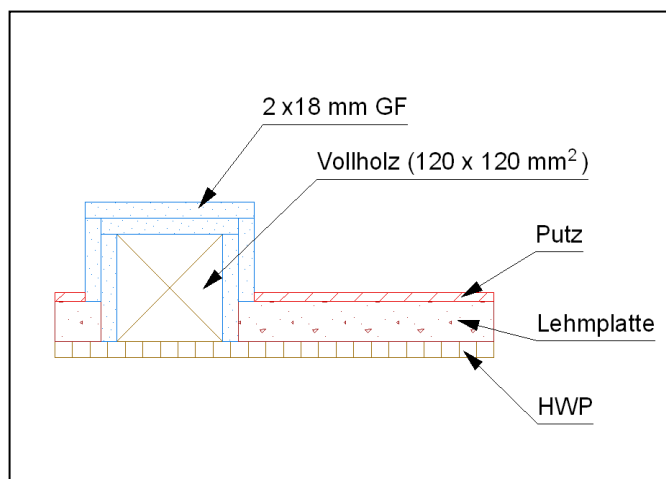


Bild 24 Anschluss Lehm – herkömmliche Brandschutzbekleidung (Gips)

Beim ersten Versuch wurde das Temperaturkriterium unter der Fuge zwischen zwei Lehmplatten nur knapp eingehalten, die anderen Messstellen waren unauffällig. Die Verfärbungen auf der Holzplatte im Bereich der Lehmfuge waren folglich zu erwarten. Um sicherzustellen, dass die Verfärbungen nicht auf den Anschluss zurückzuführen sind, sondern evtl. auf ein mangelhaftes Verfugen, wurde ein zweiter Versuch durchgeführt. Bei diesem wurde an allen Messstellen das Temperaturkriterium eingehalten. Im Bereich der Anschlüsse konnten keine Verfärbungen auf der Holzwerkstoffplatte festgestellt werden. In einiger Entfernung zum Anschluss gab es eine kleinflächigere Verfärbung wie beim vorherigen Versuch. Es ist zwar auffällig, dass bei beiden Brandversuchen Verfärbungen unter der Lehmfuge aufgetreten sind, allerdings ist es unwahrscheinlich, dass sie im Zusammenhang mit dem Anschluss zwischen Lehm- und Gipsbekleidung stehen, da sie in einiger Entfernung zur eigentlichen Prüfstelle (Anschluss) lagen. Bezüglich kritischer Punkte bei eingeputzten Platten sei außerdem auf das Kap. 3.10 verwiesen.

3.7 Anschluss Lehm – unbekleidetes Holzbauteil

Zusätzlich zur Untersuchung des Übergangs zwischen verschiedenen Brandschutzbekleidungen wurde der Anschluss zwischen einem lehmbeleideten und einem unbekleideten Holzbauteil in verschiedenen Ausführungsvarianten geprüft. Es ist ein ausreichend großer Auflagerbereich des unbekleideten Holzes erforderlich, damit nicht bereits durch den Abbrand das Feuer in die bekleidete Konstruktion eindringen kann. Ein ausreichender Brand- und Rauchschutz konnte erreicht werden durch zusätzliches Brandschutzsilikon in der Fuge zwischen Holzwerkstoffplatte und dem Auflagerbereich des unbekleideten Kantholzes (s. Bild 25). Des Weiteren wurde ein Dichtungsband eingesetzt (s. Bild 25), das allerdings nicht aufgeschäumt ist, weil die Aufschäumtemperatur von 150 °C [6] nicht erreicht wurde.

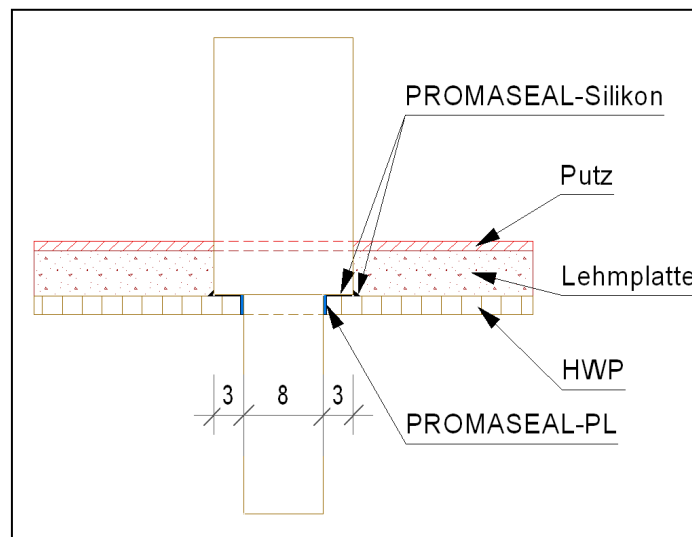


Bild 25 Übergang zwischen unbekleidetem Kantholz und bekleideter Fläche

3.8 Befestigungen in bzw. durch die Lehmbeleidung

Befestigungsmittel dürfen die Holzwerkstoffplatte hinter der Lehmbeleidung nicht bis zum Stroh durchstoßen, damit das Stroh weiterhin geschützt ist. Untersucht wurden u. a. Nägel mit einem Durchmesser von bis zu zwei Millimetern, die beispielsweise zum Anbringen von Bildern in die Lehmbeleidung geschlagen wurden (s. Bild 26).



Bild 26 Nägel in Lehmbeleidung

Die Thermoelemente unter den Nägeln zeigten während des Brandversuchs keine Auffälligkeiten an und auch auf der Holzwerkstoffplatte waren keine Verfärbungen sichtbar. Die kleine lokale Schwächung der Bekleidung durch Nägel scheint sich nicht negativ auf die Brandschutzleistung auszuwirken.

Für größere Befestigungsmittel wurden zwei Lösungsansätze verfolgt. Beide Varianten beruhen auf dem Prinzip der „Überdämmung“ (s. Kap. 3.2). Bei der einen Variante wurde auf der Lehmbeleidung ein Streifen einer Gipsfaserplatte (GF) angebracht bzw. Holz zur Überdämmung eingesetzt.

Es konnte gezeigt werden, dass ein 18 mm dicker GF-Streifen eine ausreichende Überdämmung für Schrauben mit einem Durchmesser von bis zu sechs Millimetern darstellt. Der erste Versuch mit Holz als Überdämmung lieferte keine eindeutigen Ergebnisse. Deshalb wurde ein zweiter Versuch durchgeführt mit dem Ergebnis, dass bereits eine Leiste mit einem Querschnitt von 3 x 5 cm² (3 cm Höhe, Schraube in der Mitte der 5 cm Breite) die Überdämmung für Schrauben mit einem Durchmesser von bis zu sechs Millimetern leisten kann (s. Bild 27).



Bild 27 Überdämmungen auf Lehmbeleidung vor und nach dem Versuch

Für die andere Variante wurden Plattenstreifen mit bekannter Brandschutzwirkung eingeputzt. Um Schwankungen und somit Risse im Putz zu vermeiden, wurde auf die 2 x 18 mm Gipsfaserplatten (GF), die bereits K₂ 60 klassifiziert sind, eine weitere 10 mm starke Platte montiert. So ergibt sich ein Aufbau von 46 mm GF (s. Bild 28). Dies entspricht ungefähr der Dicke der angeklebten Lehmplatte, sodass beide Bereiche mit einem Zentimeter Putz verputzt werden können. Durch diesen Aufbau wurden Schrauben mit Durchmessern von vier, fünf und sechs Millimetern bis in die Holzwerkstoffplatte geschraubt. An der Holzwerkstoffplatte konnten nach dem Brandversuch keine Verfärbungen im Bereich der Schrauben festgestellt werden. Folglich können Schrauben mit einem Durchmesser von bis zu sechs Millimetern bei diesem Aufbau verwendet werden. Bezüglich kritischer Punkte bei eingeputzten Platten sei auf das Kap. 3.10 verwiesen.

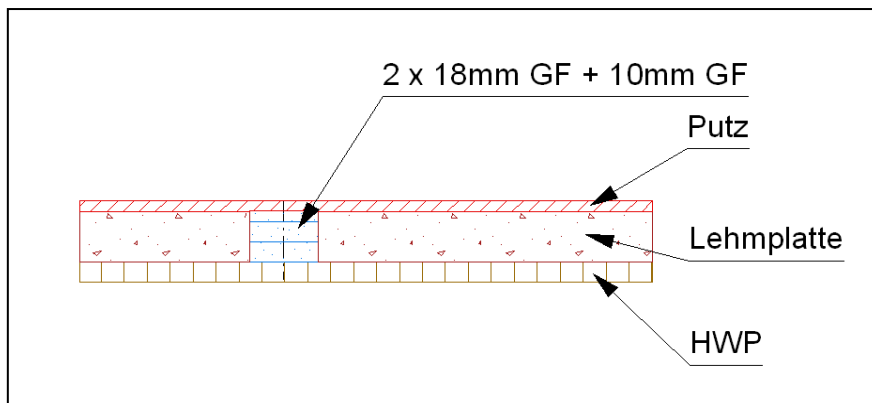


Bild 28 Eingegputzter Plattenstreifen für Befestigungen

3.9 Kabel

Dünne Kabel wie beispielsweise BUS-Leitungen (bis zu $4 \times 0,6 \text{ mm}^2$) können auf der Lehmplatte mit Kabelschellen befestigt und eingegputzt werden (s. Bild 29). Risse, die aufgrund der Putzdickenschwankungen in diesem Bereich entstanden sind, konnten bei den Probekörpern leicht zugeschlämmt werden. Brandschutztechnisch ist die lokale Schwächung durch das dünne Kabel unkritisch, wie durch Brandversuche gezeigt werden konnte.

Der für dickere Kabel verfolgte Lösungsansatz sieht vor, zwischen den Lehmplatten einen Streifen aus $2 \times 18 \text{ mm}$ Gipsfaserplatten ($K_2 60$) zu befestigen (s. Bild 29), auf dem dann ein Kabel (bis zu $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$) geführt werden kann. Das Einputzen dieses Aufbaus bedeutet für den Lehmputz große Dickenschwankungen (s. Bild 29), deshalb sollte der Oberputz in diesem Bereich in zwei Lagen mit jeweils einer Gewebeeinlage aufgebracht werden. Bezüglich kritischer Punkte bei eingegputzten Platten sei auf das Kap. 3.10 verwiesen.

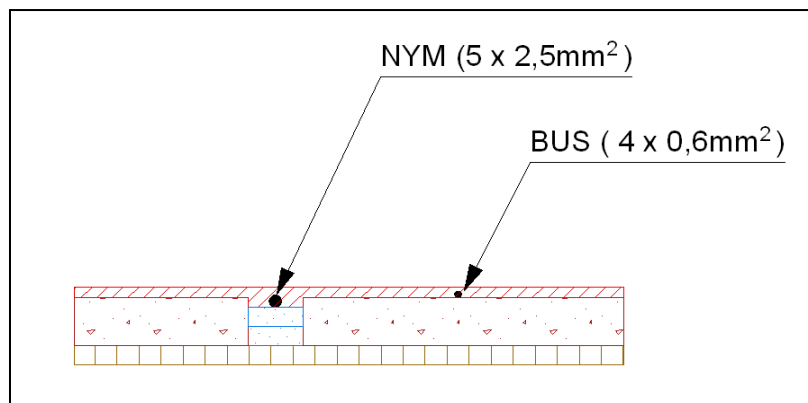


Bild 29 Eingegputzte Kabel

3.10 Weitere Anmerkungen

Bei einigen Brandversuchen mit eingegputzten Platten kam es in der T-Fuge zwischen zwei Lehmplatten und dem Gipsstreifen zu leichten Verfärbungen auf der Holzwerkstoffplatte. Die T-Fuge stellt eine besondere Herausforderung beim vollflächigen Verfugen dar. Zum Verfugen wurde Lehmkleber eingesetzt. Als Optimierungsmaßnahme könnte der Einsatz von mineralischem Lehmputz in der Fuge zwischen Gipsstreifen und den Lehmplatten untersucht werden.

Weitere Detailuntersuchungen wie u. a. der Anschluss zwischen Lehmbeleidung und herkömmlicher Brandschutzbekleidung verdeutlichen ebenfalls die Wichtigkeit der Sorgfalt beim vollflächigen Verfugen.

Der Projektpartner Claytec hat für die Lehmbeleidung einen Lehmkleber mit reduziertem Zelluloseanteil entwickelt. Während der Durchführung der Detailprüfungen am iBMB wurden Messverfahren zur Bestimmung des Anteils organischer Bestandteile in Lehmprodukten vom Hersteller näher untersucht und ein Verfahren festgelegt. Anschließend wurde ein weiterer Kleber mit einem Masse- und Volumenanteil der Zellulose kleiner einem Prozent zur Verfügung gestellt, gemessen nach dem neu festgelegten Verfahren. Bei der Herstellung von Prüfkörpern mit dem neuen Kleber und beim Abschlagen der Bekleidung nach den Brandversuchen ließen sich keine signifikanten Veränderungen der Klebeeigenschaften feststellen.

Als Holzwerkstoffplatten, auf denen die Lehmbeleidung für die Brandversuche befestigt wurde, kamen Span- und OSB-Platten bei den Detailprüfungen zum Einsatz. Spanplatten wurden in Anlehnung an die Prüfnormen für Brandschutzbekleidungen (DIN EN 13501-2 bzw. DIN EN 14135) verwendet. Da im Rahmen des Projektes der Einsatz von OSB-Platten diskutiert wurde, wurden einige Detailprüfungen mit diesen Platten durchgeführt. Es konnten im Maßstab der Detailversuche keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

Kontrollmessungen auf der Rückseite der Holzwerkstoffplatten (brandabgewandte Seite) bestätigten, dass die Temperaturgrenze von 200 °C nicht erreicht wurde, wie nach [1] zu vermuten war.

4 Arbeitspaket 3 „Belegversuch im Realmaßstab“

Für den Belegversuch im Realmaßstab wurde ein Raum mit Strohballenwänden und -decke auf einer Brandkammer mit einer Grundfläche von ca. 4 x 4 m² errichtet (s. Bild 30). Zum Schutz wurde die Brandkammer mit 15er Porenbetonsteinen ausgemauert. Zwei der Wände und die Decke waren mit der neuentwickelten 45 mm dicken Lehmplatte und 10 mm Lehmputz bekleidet, um die Bekleidung und die Anschlüsse zu untersuchen. Eine Wand war mit dem untersuchten 60 mm starken Leichtkalk bekleidet. Die Bekleidungen befinden sich in realen Gebäuden auf unterschiedlichen Seiten (außen oder innen), weshalb ein Übergang zwischen beiden Bekleidungsarten nicht untersucht wurde. Die vierte Wand war mit Gipsfaserplatten (K₂ 60) bekleidet, um die Menge an erforderlichen Lehmplatten gering zu halten und zur Untersuchung von Lehm-Gips-Anschlüssen.

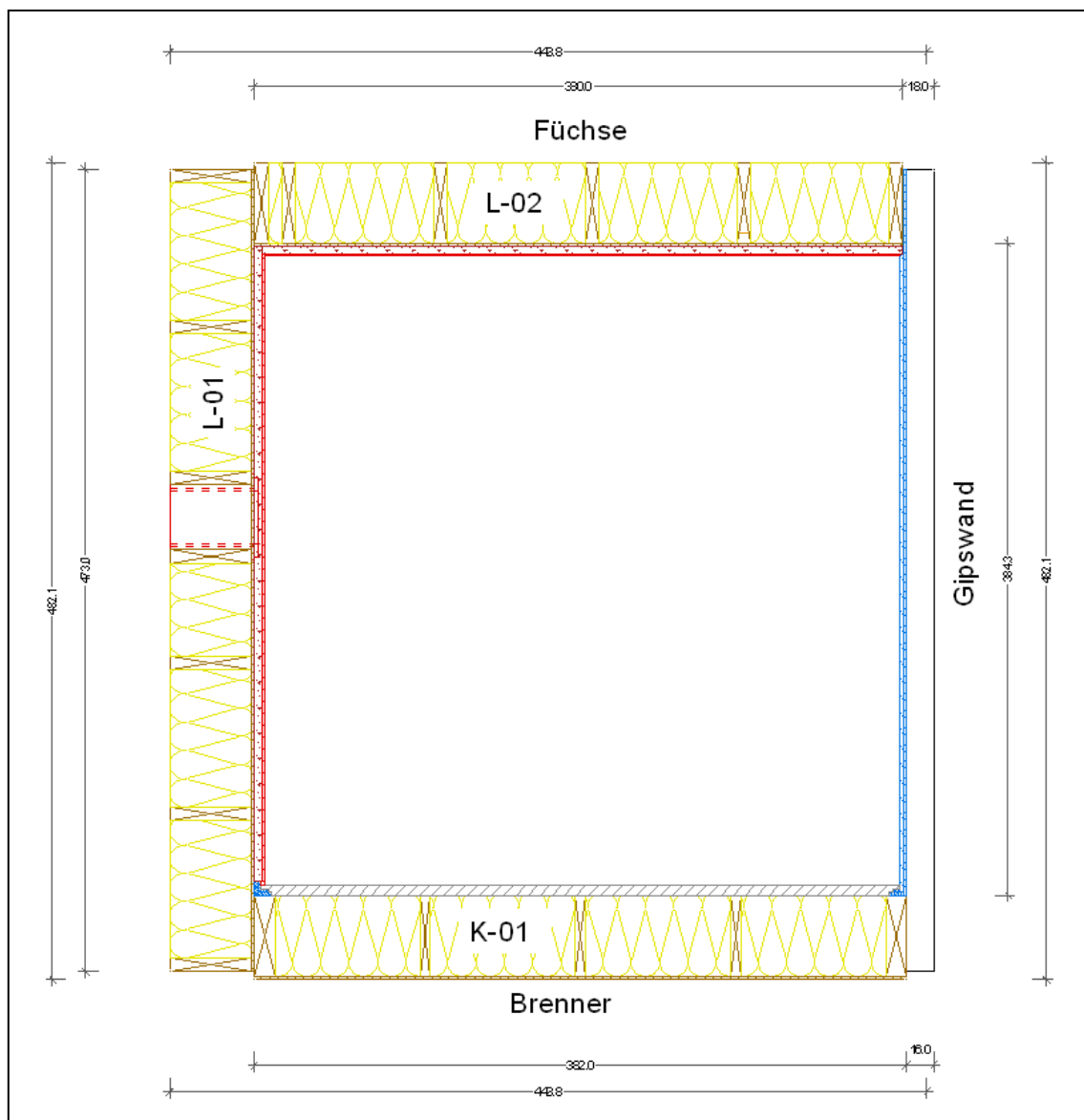


Bild 30 Wandaufbauten des Großversuchs

Die Strohballenwände und -decke wurden vom Projektpartner Kahrs hergestellt und zur Aussteifung mit OSB-Platten versehen, wie es die Planungen des Projektpartners Ö.Contur für den mehrgeschossigen Strohballenbau vorsehen. Vom Projektpartner iBMB wurden die Elemente mit Thermoelementen ausgestattet. Mit dem Verputzen der Kalkwand wurde bereits fünf Monate vor dem geplanten Brandversuch begonnen, um eine ausreichende Trocknung zu erreichen. Die sogenannte Sauberkeitsschicht (s. Kap. 5) wurde im Februar 2013 vom Projektpartner Endress hergestellt. Einen Monat später wurde die erste Lage der eigentlichen Brandschutzbekleidung mit einer Schichtdicke von circa zwei Zentimetern aufgebracht. Die endgültige Schichtstärke von insgesamt sechs Zentimetern wurde im Mai 2013 vollendet. Der Aufbau der Stroh Elemente auf der Brandkammer durch den Projektpartner Kahrs und das anschließende Anbringen der Lehmbelegung durch die Projektpartner Claytec und BIBER erfolgte drei Wochen vor dem Brandversuch. Die Trocknung wurde durch Ventilation unterstützt. Im Lehmputz kam es an der Decke und vereinzelt an den Wänden zu kleinen Schwindrissen, die nach Rücksprache mit den Projektpartnern zwei Tage vor dem Versuch vom Projektpartner BIBER zugeschlämmt wurden.

Der Belegversuch wurde bei 60-minütiger Brandbeanspruchung nach Einheits-Temperatur-zeitkurve durchgeführt, um die Leistungsfähigkeit der Bekleidungen und ihrer Anschlüsse im Realmaßstab unter Vollbrandbedingungen aufzuzeigen. Nach ca. 20 Minuten Versuchsdauer fielen jedoch Lehmplatten von der Decke (s. Bild 31) ab. Daraufhin musste der Versuch abgebrochen werden, da ein Durchbrand in die Dämmung und Konstruktion verhindert werden musste.

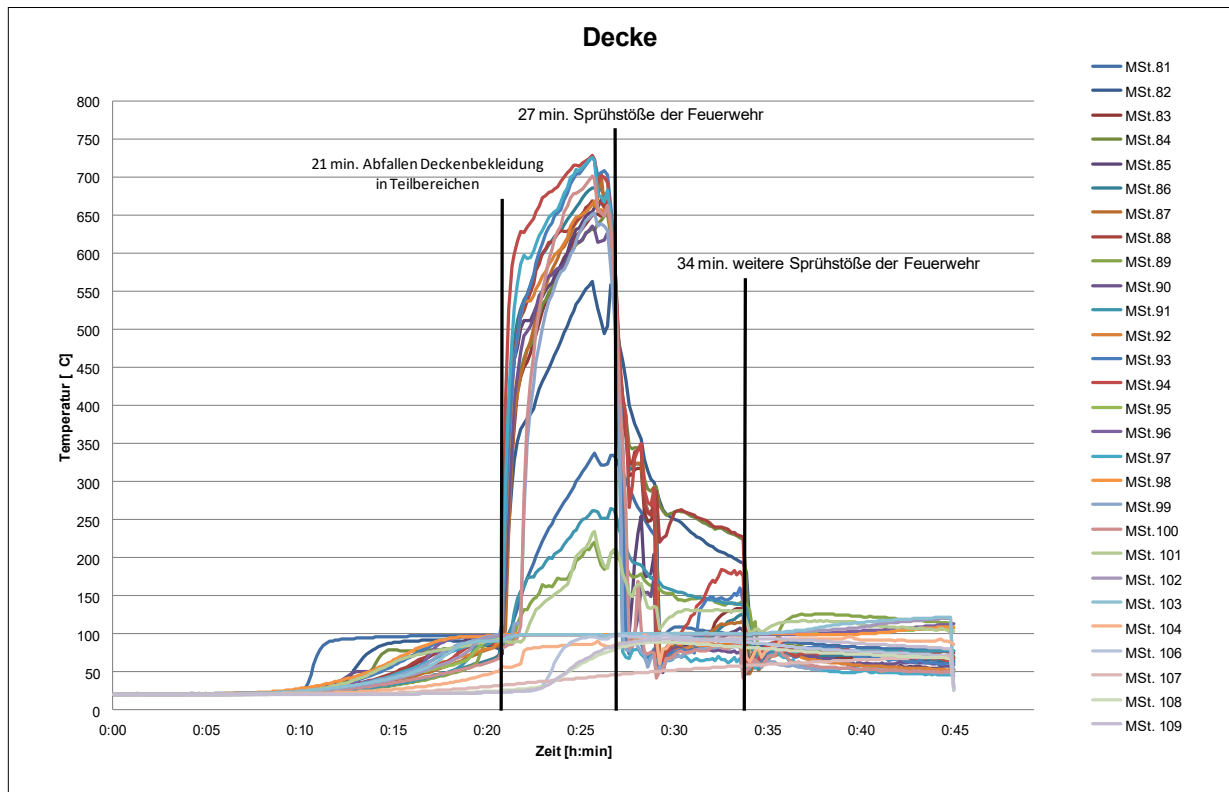


Bild 31 Temperaturmessungen an der Decke

Die Haftung der Platten wird von vielen Faktoren beeinflusst, wie Trocknung, Klebkraft des Lehmklebers, Befestigungsmittel, Untergrund und Auflagerbedingungen. Diese und weitere Parameter wurden zusammengefasst und qualitativ gewichtet. Um die Ursachen für die Ablösung der Lehmplatten im großmaßstäblichen Brandversuch trotz vorheriger erfolgreicher Brandversuche an Bauteilausschnitten (s. Kap. 2) genauer klären zu können, wären weitere systematische Untersuchungen der Einflussparameter erforderlich. Da die Forschungsmittel ausgeschöpft waren, konnten die zusätzlichen Versuche für diese Untersuchungen im Rahmen des Projektes nicht mehr durchgeführt werden. Für Kalk- und Lehmbekleidung an den Wänden, bei denen es im Belegversuch nicht zu Ablösungen kam, lässt sich festhalten, dass die Temperaturverläufe bis zum Versuchsabbruch näherungsweise denen der Vorversuche entsprachen. In das Diagramm der Kalkwand des Großbrandversuchs (s. Bild 32) ist eine Maximalkurve des Versuchs im kleinen Deckenbrandhaus eingetragen. Lediglich eine Messstelle liegt oberhalb dieser Kurve.

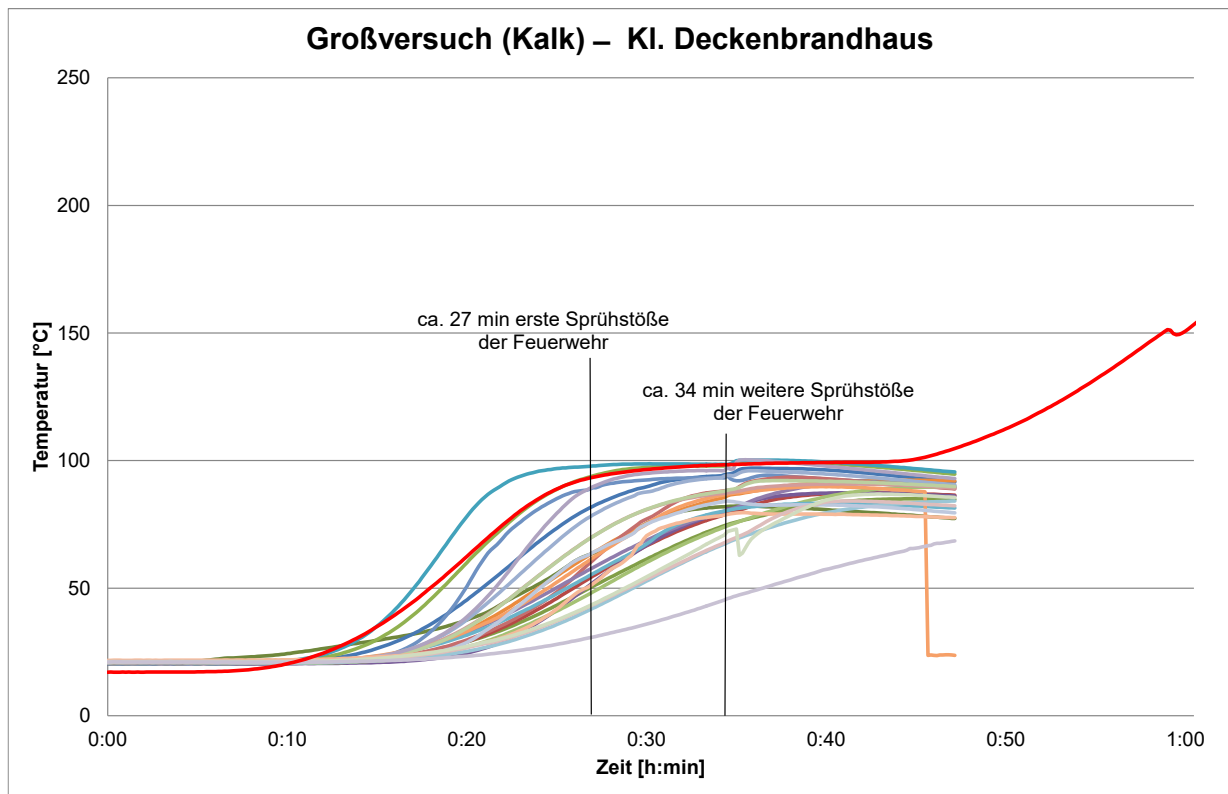


Bild 32 *Temperaturen der Kalkwand und Vergleich mit Versuch im kl. Deckenbrandhaus*

Die Temperatur-Zeitkurven der Lehmwand L-02 des Großversuchs liegen unterhalb der Maximalkurve aus dem Versuch im kleinen Deckenbrandhaus (s. Bild 33). Die für den Vergleich relevanten Messstellen zeigten ähnliche Temperatur-Zeitverläufe wie beim Versuch im kleineren Maßstab.

Für die Lehmwand L-01 lässt sich festhalten, dass die Temperaturen zweier Messstellen über der Kurve des Vergleichsversuchs liegen (s. Bild 34). Diese Messstellen befanden sich im Übergang zwischen Lehm- und Gipsbekleidung. Aus der Erfahrung der Detailversuche (s. Kap. 3.10) waren hier höhere Temperaturen zu erwarten.

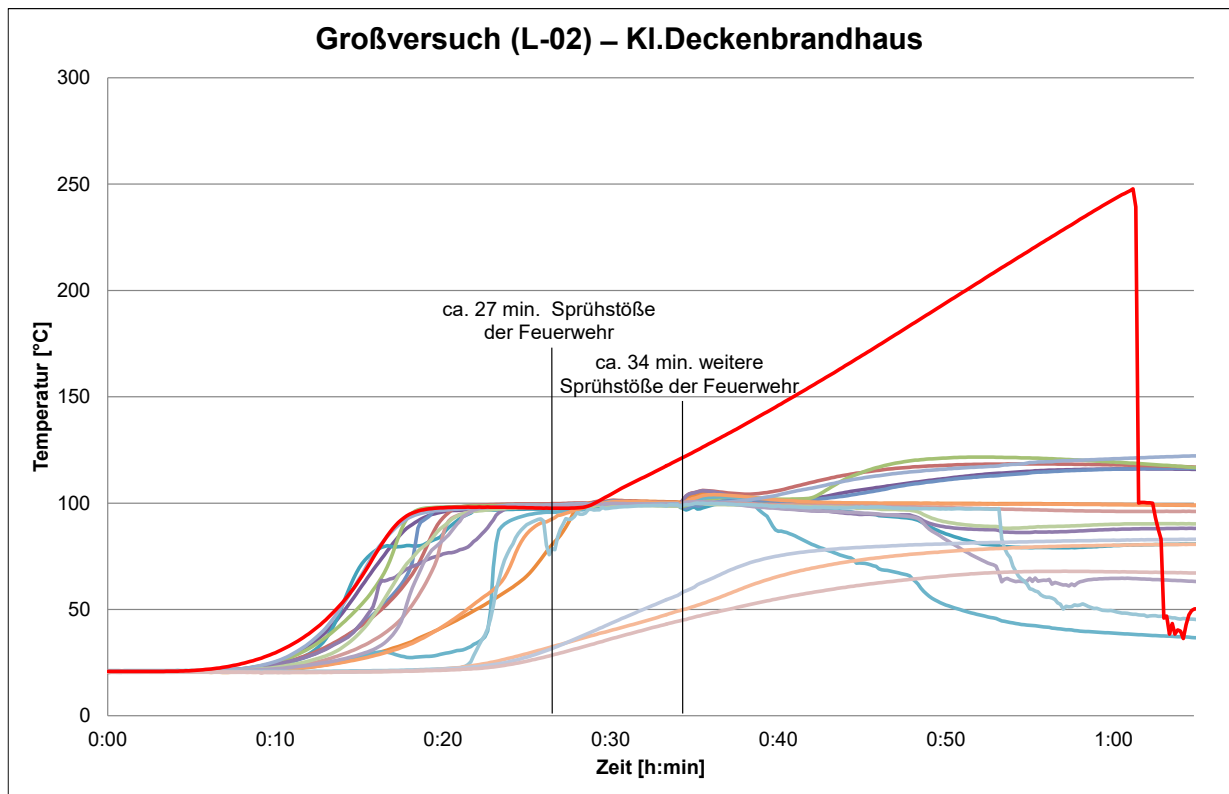


Bild 33 Temperaturen der Lehmwand L-02 und Vergleich zum kleinen Deckenbrandhaus

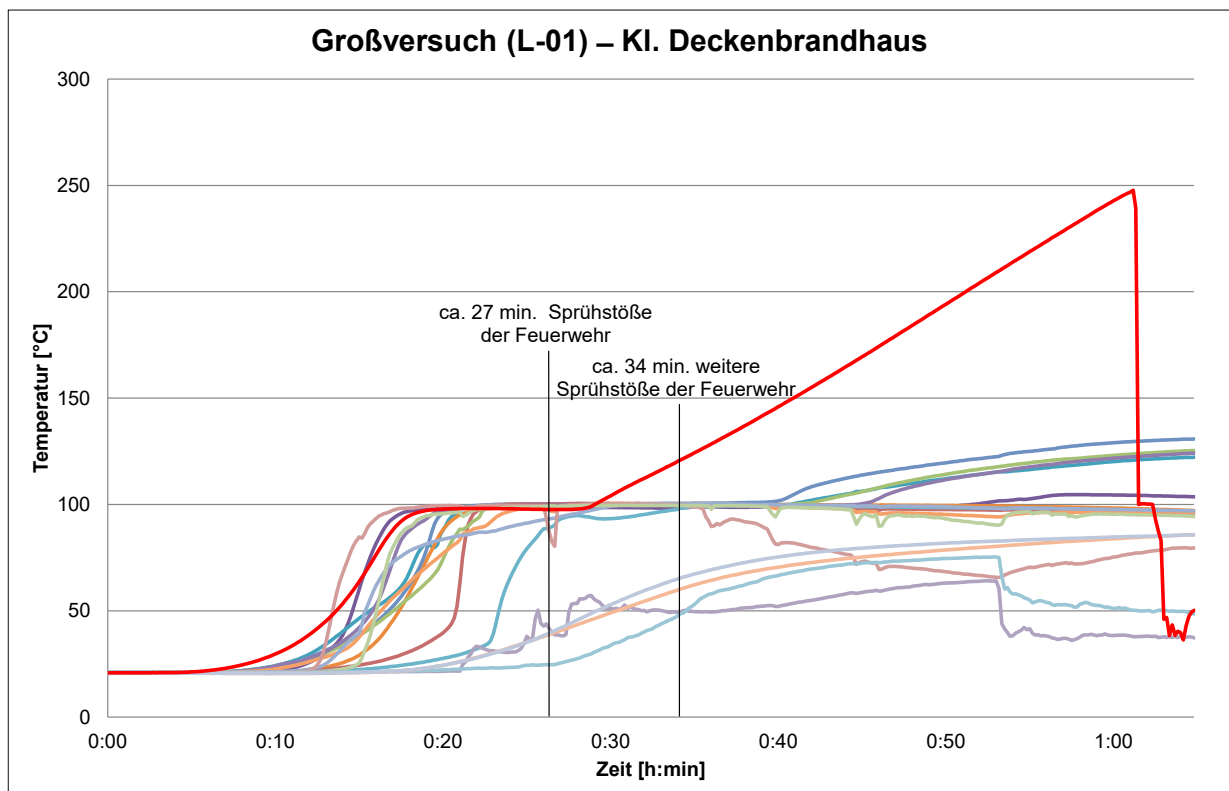


Bild 34 Temperaturen der Lehmwand L-01 und Vergleich zum kleinen Deckenbrandhaus

5 Arbeitspaket 4 „Vorgaben zur Qualitätssicherung“

Entscheidend für die Sicherstellung des Brandschutzes mehrgeschossiger Strohballenbauten ist besonders die Brandschutzbekleidung. Die Vorgaben zur Qualitätssicherung für diese wurden in enger Zusammenarbeit mit den entsprechenden Projektpartnern erarbeitet. Da die Messung der Schichtdicke(n) von der Strotoberfläche aus schwierig ist, wurde für den Kalkputz beschlossen, die Holztragkonstruktion als Bezugsfläche festzulegen. Demnach muss die Strohballendämmung bündig mit der Außenkante des Holztragwerks abschließen. Es sollen möglichst keine Strohhalme über diese Grenze hinaus stehen (Rasieren des Strohs). Hierauf ist zunächst eine erste Schicht Kalkputz aufzutragen, damit das Stroh durch den Putz gebunden wird und somit kein Stroh direkt in die eigentliche Brandschutz-Kalkputzbekleidung ragt, sondern in den Kalkputz eingebunden wird wie auf Bild 35 zu erkennen (sog. „Sauberkeitsschicht“).



Bild 35 Sauberkeitsschicht

Die Sauberkeitsschicht soll bündig mit dem Holz abschließen, damit ab hier die Dicke der eigentlichen Brandschutzbekleidung bestimmt werden kann. Nach dem Aushärten der Sauberkeitsschicht kann der Kalkputz aufgebracht werden. Dies soll aus Gründen des Feuchteschutzes in zwei Lagen erfolgen. Beim Aufbringen kann die Schichtdicke über Einstechen beispielsweise mit einem Gliedemaßstab kontrolliert werden. Anschließend ist die Fläche zu glätten, damit die Einstiche verschlossen werden.

Für die Lehmbelegung sollte die Sicherstellung der Mindestdicke der Lehmplatte von 45 mm werkseitig erfolgen. Bei der Plattenmontage sind die Fugen dünn, aber vollflächig zu verfüllen (s. Kap. 2 und 3). Die Putzschicht zur Abdeckung der Platten ist in einer Stärke von mind. einem Zentimeter auszuführen. Zur Kontrolle während des Auftrags kann wie beim Kalkputz in den Lehmputz gestochen und dieser wieder geglättet werden. Ein Feinputz wurde bei den Brandversuchen nicht aufgetragen. Damit ist dieser brandschutztechnisch nicht relevant und es besteht gestalterische Freiheit bei der Oberflächenausführung der Brandschutzbekleidung.

Über diese konstruktiven Festlegungen hinaus wurde eine Messanordnung entwickelt, die eine zerstörungsfreie Überprüfung der Putzschichtdicke ermöglichen soll (s. Bild 36). Am Holztragwerk können beispielsweise in den Fensteröffnungen Fixpunkte festgelegt werden. Wird an diesen Fixpunkten eine Messebene parallel zur Wand befestigt, kann von hieraus zunächst eine Messung auf das Stroh bzw. das Holztragwerk erfolgen (Nullmessung). Über

eine erneute Messung nach dem Aufbringen des Putzes und dem Vergleich mit der Nullmessung kann die Schichtdicke bestimmt werden. Es sind auch Messungen der Zwischenschichten möglich. Ebenso kann das Verfahren auf der Innenseite für die Lehmbeleidung angewendet werden. Hier ist die Oberfläche der Holzwerkstoffplatte als Bezug für die Nullmessung zu wählen.

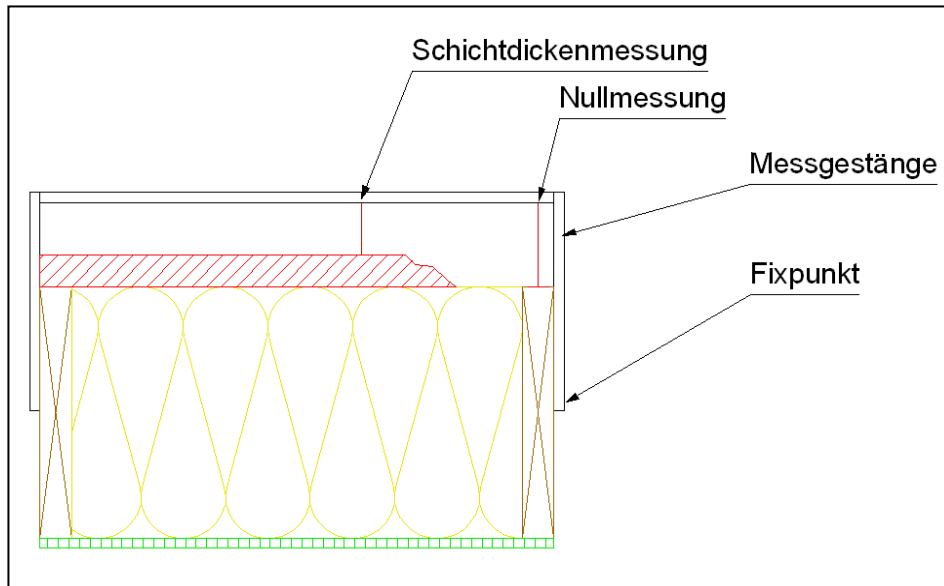


Bild 36 Messanordnung zur Überprüfung der Dicke der Brandschutzbekleidung

Des Weiteren wurden zerstörende Prüfverfahren an Lehm-Probekörpern untersucht. Es wurde ein kleiner Krater in die Lehmbeleidung geschlagen, sodass über einen Gliedermaßstab die Bekleidungsstärke kontrolliert werden konnte (s. Bild 37). Anschließend wurde das Loch mit mineralischem Lehmputz verfüllt. Beim Brandversuch wurde am Thermoelement unterhalb der Prüfstellung keine ungewöhnliche Temperaturerhöhung gemessen. Nach Versuchsende konnte keine Verfärbung festgestellt werden. Eine solch kleine Störung des Gefüges scheint sich nicht negativ auf die Brandschutzleistung der Lehmbeleidung auszuwirken. Allerdings sind zerstörungsfreie Prüfverfahren immer vorzuziehen.



Bild 37 Zerstörende Prüfung der Lehmbeleidung

Während der Nutzung ist die Intaktheit der Brandschutzbekleidung regelmäßig visuell zu überprüfen, beispielsweise durch einen Brandschutzbeauftragten. Kommt es z. B. zu Setzungsrisiken oder anderen Schädigungen, sind diese umgehend auszubessern, damit die Funktionsfähigkeit der Bekleidung wieder hergestellt wird.

6 Arbeitspaket 5 „Brandschutzkonzept“

Im Rahmen des Arbeitspaketes wurden Brandschutzkonzepte entwickelt und mit Hilfe einer Risikoindexmethode beurteilt. Die Fire-Risk-Index-Method – For Multi-storey Apartment Buildings – für Deutschland (FRIM-MAB-D) ist eine semi-quantitative Risikomethode zum Vergleich verschiedener Holzbauweisen und ihrer Kompensationsmaßnahmen [1]. Im Folgenden wird anhand eines Brandschutzkonzeptes die Risikobewertung von mehrgeschossigen Strohballenbauten vorgestellt.

Aus [1] ist bekannt, dass mehrgeschossige Holzbauten mit Strohballendämmung und auf diese Bauweise angepasster herkömmlicher Brandschutzbekleidung im Betrachtungszeitraum von 60 Minuten das gleiche brandschutztechnische Sicherheitsniveau erreichen wie eine Mauerwerks- oder Stahlbetonbauweise. Die Brandschutzbekleidung stellt sicher, dass bei einer 60-minütigen Brandeinwirkung die brennbaren Baustoffe vor thermischer Zersetzung geschützt werden. Für die Bewertung eines Strohballenbaus mit Brandschutzbekleidungen aus Kalk und Lehm wurde als Referenzobjekt ein mehrgeschossiges Gebäude nach Muster-Bauordnung (MBO) mit herkömmlicher Brandschutzbekleidung betrachtet. Da inzwischen in den meisten Bundesländern die Rauchmelderpflicht eingeführt ist, wurde das Referenzgebäude um diese Maßnahme ergänzt. Durch die FRIM-MAB-D wurde das Referenzgebäude mit einem Risikoindex von 2,99 bewertet (s. Anhang). Für den zu vergleichenden Strohballenbau wird davon ausgegangen, dass alle erforderlichen Brandversuche für die Brandschutzbekleidungen aus Lehm- und Kalk bestanden wurden. Zu den neuen Brandschutzbekleidungen liegen aber keine Erfahrungen für Langzeitanwendungen vor. Um diese Unsicherheit zu erfassen, wurden zur Bewertung dieser Bauweise entsprechende Abminderungen bei einigen Parametern vorgenommen (s. Anhang). Damit kann ein solcher Strohballenbau rechnerisch nicht das gleiche Sicherheitsniveau erreichen wie mit herkömmlichen Brandschutzbekleidungen, obwohl sonst keine Änderungen im Vergleich zum Referenzgebäude angenommen wurden. Zur Kompensation wurden deshalb bei der weiteren Bewertung vernetzte Rauchwarnmelder nach DIN EN 14767 angesetzt. Der Schutz vernetzter Rauchwarnmelder mit redundanter Stromversorgung geht über den in einigen Landesbauordnungen geforderten Grundschutz durch sog. Heimmelder hinaus. Außerdem erfolgt über die Vernetzung eine Warnung im gesamten Gebäude. Sollten beispielsweise unbemerkt Rissen in der Brandschutzbekleidung entstanden sein, über die ein Brand in die Konstruktion eindringen kann, wird über die vernetzten Rauchwarnmelder eine rechtzeitige Warnung der Nutzer sichergestellt. Mit dieser Kompensationsmaßnahme erhält der Strohballenbau mit den neuartigen Brandschutzbekleidungen und den vernetzten Rauchmeldern einen Risikoindex von 2,77 (s. Anhang). Da bei vergleichenden Risikobewertungen mit der FRIM-MAB-D ein kleinerer Index ein kleineres Risiko bedeutet, erreicht der zu vergleichende Strohballenbau mindestens das gleiche Sicherheitsniveau wie der Referenzbau.

So konnte gezeigt werden, dass sich das erhöhte Brandrisiko aufgrund der brennbaren Strohballendämmung in Verbindung mit den neuentwickelten Bekleidungen durch den Einsatz funkvernetzter Rauchwarnmelder kompensieren lässt. Zusätzlich ist die Brandschutzbekleidung regelmäßig auf ihre Unversehrtheit zu untersuchen (s. Kap. 5). Außerdem wird vorausgesetzt, dass die Brandschutzbekleidungen die erforderlichen Leistungskriterien erfüllen.

Strohballenbauten können allerdings komplexer geplant werden als in der vorstehenden Betrachtung und weitere Abweichungen zur Bauordnung aufweisen. Mit der FRIM-MAB-D kann dies über die Bewertung der entsprechenden Parameter erfasst und die Eignung der gewählten Kompensationsmaßnahmen gezeigt werden. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden folglich weitere Varianten komplexerer Strohballenbauten mit entsprechenden Brandschutzmaßnahmen betrachtet und hinsichtlich des Brandrisikos bewertet. Auf diese Bewertungen könnte als Planungsgrundlage zurückgegriffen werden.

Die verwendete Risikomethode ist für mehrgeschossige Wohnnutzungen konzipiert. Da neben einer Wohnnutzung auch Büro- und Verwaltungsgebäude als eine übliche Nutzung von Strohballenbauten angesehen werden, wurde untersucht, ob die FRIM-MAB-D auch diese Nutzung bewerten kann. In einem ersten Schritt wurde das Referenzgebäude um die Anforderungen der technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR A 2.2) ergänzt. Bis zu einem gewissen Umfang werden Büro- und Verwaltungsgebäude in der MBO behandelt. In diesem Bereich scheinen die beiden Nutzungen so ähnlich, dass die vorgeschlagene Anpassung des Referenzgebäudes für eine Bewertung mit der FRIM-MAB-D ausreichend scheint. Für ausgedehnte Büro- und Verwaltungsgebäude müsste eine erneute Expertenurfrage durchgeführt werden, um eine auf diese Nutzung ausgelegte Indexmethode zu generieren.

7 Arbeitspaket 6 „Wärmeleitfähigkeitsmessungen“

Zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit wurden Messungen an Strohballenproben aus Roggen und verschiedenen Putzproben durchgeführt. Zunächst wurden Vorversuche zur Verifizierung des Einflusses der Halmausrichtung auf die Wärmeleitfähigkeit durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten wie die Prüfungen an anderen Prüfanstalten (z. B. FIW München) einen signifikanten Einfluss der Halmausrichtung auf die Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN 12667, gemessen mit einem Einplattenmessgerät, ist in Halmrichtung mit $\lambda_{10} = 0,0560 \text{ W/(mK)}$ bei einer Rohdichte von 98 kg/m^3 deutlich höher als die Wärmeleitfähigkeit quer zur Halmrichtung mit $\lambda_{10} = 0,0412 \text{ W/(mK)}$ und einer Rohdichte von 83 kg/m^3 . Zusätzlich wurde die Wärmeleitfähigkeit in Einbaurichtung untersucht. Die Werte dieser Messungen liegen im Anlieferungszustand und nach Trocknung bei $\lambda_{10} = 0,067 \text{ W/(mK)}$ bzw. $\lambda_{10} = 0,058 \text{ W/(mK)}$ mit mittleren Rohdichten von 93 kg/m^3 bzw. 83 kg/m^3 .

Bei den untersuchten Putzen bzw. Platten handelt es sich um mineralische Lehmputze mit und ohne Brandschutzadditiv, Lehmplatten mit Leichtzuschlag sowie zwei Kalkputze mit und ohne Zusatz eines Brandschutzadditivs. Die Lehmputzproben wurden in mehreren Schichten von Hand hergestellt. Das Brandschutzadditiv im Lehmputz bewirkt eine Verringerung der mittleren Rohdichte von 1780 kg/m^3 auf 570 kg/m^3 und eine Verringerung der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_{10} = 0,72 \text{ W/(mK)}$ auf $\lambda_{10} = 0,15 \text{ W/(mK)}$. Der Mittelwert für die durchgeführten Messungen an Lehmplatten-Ausschnitten liegt bei $\lambda_{10} = 0,32 \text{ W/(mK)}$ und einer mittleren Rohdichte von 1109 kg/m^3 . Bei den untersuchten Kalkputzen hat das Zusatzmittel hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte. Der Mittelwert für den Luftkalkputz beträgt $\lambda_{10} = 0,37 \text{ W/(mK)}$ und für den Leichtkalkputz $\lambda_{10} = 0,16 \text{ W/(mK)}$ bei Rohdichten von 11485 kg/m^3 bzw. 717 kg/m^3 im Mittel. Die händische Herstellung der Probekörper führt teilweise zu Schwankungen der Rohdichte, die zu einer Streuung der Wärmeleitfähigkeitsmesswerte führen.

Temperaturabhängige Materialkennwerte wurden nach dem „Transient-Plane-Source-Verfahren“ (TPS) nach ISO 22007-2:2008 bestimmt. Untersucht wurden mineralischer Lehmputz, die Lehmplatte mit Leichtzuschlag sowie der Leichtkalkputz mit und ohne Brandschutzadditiv. Der Mica-Sensor der Messeinrichtung ist in dem Temperaturbereich von 500 bis 1000 K

(230 bis 730 °C) ausgelegt. Ein direkter Vergleich der Messungen mit dem Mica-Sensor nach dem TPS-Verfahren und den Messungen im Einplattenmessgerät ist folglich nicht möglich.

Für die Kalkputze ist weiter zu beachten, dass der Putz für die Messungen nach dem TPS-Verfahren mit einem (Baustellen-) Mörtelquirl angemischt wurde, abweichend zur Herstellung für die Messungen im Einplattengerät mit einem Labormischer. Dies hat Abweichungen beim Luftporengehalt und der Rohdichte zur Folge, weshalb die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind. Für das TPS-Verfahren mussten zunächst für die zu untersuchenden Materialien die Einstellungen für die Messungen festgelegt werden. Es stellte sich heraus, dass für die verschiedenen Temperaturstufen teilweise unterschiedliche Einstellungen gewählt werden müssen. Folglich war die Ermittlung dieser Einstellungen im Vergleich zu anderen Materialien ein aufwändiger Prozess. Mit den finalen Einstellungen wurden für jedes Material mindestens drei Messreihen durchgeführt. Für alle untersuchten Baustoffe lässt sich die Tendenz festhalten, dass die Wärmeleitfähigkeit bei steigender Temperatur sinkt.

8 Arbeitspaket 7 „Hygrothermische Materialkennwerte von Putzen“

Die Bestimmung der sorptiven Feuchtigkeiten ermöglicht die Festlegung der zu verwendenden Baustoffe. Die Sorptionsisothermen wurden von der Universität Kassel, dem Projektpartner im Bereich Bauphysik, auf Basis der ermittelten Ergebnisse zusammengestellt und anhand der durchgeführten Versuche und Monitoring validiert (siehe Bericht der Universität Kassel). Auf eine explizite Ermittlung der Diffusionswiderstände der Putze wurde verzichtet, da labortechnische Messungen auf Grund des nicht saugenden Untergrunds nicht mit den realen Verhältnissen vergleichbar sind. Außerdem werden diese Messgrößen durch die Hersteller standardmäßig ermittelt. Mit Hilfe eines hygrothermischen Nachweises können hingegen die erforderlichen Eigenschaften vielfach genauer abgegrenzt und bestimmt werden.

9 Zusammenfassung der Forschungsarbeiten

Im Forschungsprojekt wurde ein anwendungsfähiges und wissenschaftlich untersuchtes Produktsystem mit Strohballen als Dämmung entwickelt, das alle wesentlichen Anforderungen für die Anwendung als Außenwand in einem bis zu fünfgeschossigen Gebäude erfüllt. Hierzu wurden geeignete Bauteilaufbauten und -anschlüsse entwickelt und brandschutztechnisch optimiert. Die wesentlichen Ziele des Forschungspartners iBMB und des Gesamtprojektes wurden somit erreicht. Der durchgeführte Belegversuch im Realmaßstab zeigt jedoch noch Optimierungsbedarf bei der Lehmbekleidung. Erste Auswertungen lassen aber vermuten, dass sich mit einfachen Maßnahmen ein leistungsfähiges System entwickeln ließe. Das Brandrisiko mehrgeschossiger Strohballenbauten in verschiedenen Ausführungen wurde mit einer angepassten Risikoindexmethode bewertet und es wurden risikogerechte Brandschutzmaßnahmen erarbeitet. Des Weiteren wurden experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit von Stroh und Bekleidungen durchgeführt. Es erfolgte eine umfassende Dokumentation der durchgeführten Versuche und Analysen sowie ihrer Ergebnisse und Bewertungen. Hieraus folgten einige Veröffentlichungen und weitere sind geplant (s. Kap. 10).

Generell konnte durch die vorliegenden Forschungsergebnisse gezeigt werden, dass sich bei bis zu fünfgeschossigen Gebäuden in Strohballenbauweise der Gebäudeklasse 4 aus Sicht des Brandschutzes alle Schutzziele erreichen lassen. Die Anwendung der Forschungsergebnisse erfolgt derzeit bei einem Pilotprojekt in Verden.

10 Verwendung der Ergebnisse

Pilotprojekt in Verden

Die untersuchte Strohballenbauweise findet bereits Anwendung bei einem Pilotprojekt in Verden (Aller) mit Kalkputz als Außenwandbekleidung und Gipsplatten auf Holzwerkstoffplatten auf der Innenseite. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten brand-schutztechnischen Untersuchungen konnten wesentlich zur Genehmigungsfähigkeit des Bauvorhabens beitragen. Sie können außerdem die Basis für weitere mehrgeschossige Strohballenbauten der Gebäudeklasse 4 bilden.

Veröffentlichungen

Teile der Forschungsarbeiten zum Brandschutz für mehrgeschossige Strohballenbauten wurden auf den folgenden Tagungen vorgestellt und veröffentlicht:

- Kampmeier, B.; Wachtling, J.: Norddeutsches Zentrum für nachhaltiges Bauen – Ein Pilotprojekt mit angewandter Forschung. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage 2012, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 218. Braunschweig, 2012, ISBN 978-3-89288-203-9.
- Wachtling, J.; Hosser, D.; Zehfuß, J.: Fire protection of multi-storey straw bale buildings. In: Research and applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation, Tagungsband. Alphose Zingoni, Kapstadt, 2013, ISBN 978-1-138-00061-2.
- Wachtling, J.: Neue Erkenntnisse und Entwicklungen im mehrgeschossigen Holzbau. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage 2013, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 220. Braunschweig, 2013, ISBN 978-3-89288-205-3.
- Wachtling, J.: Neue Erkenntnisse und Entwicklungen im mehrgeschossigen Holzbau. In: FeuerTRUTZ Magazin 2.2014, S. 22-25 (Kurzversion der vorstehenden Veröffentlichung).
- Küppers, J.; Hosser, D.; Zehfuß, J.: Neue Forschungsergebnisse zum Brandschutz für mehrgeschossige Strohballenbauten. In: vfdb Zeitschrift 1/2016, S. 20-27.
- Küppers, J.; Hosser, D.; Zehfuß, J.: Zum Brandschutz mehrgeschossiger strohgedämmter Holzbauten. In: Kurzberichte aus der Forschung, Inst. für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 2016 (<http://www.ibmb.tu-bs.de/docpool/reports/KaF-2016-09.pdf>).

11 Literatur

- [1] Kampmeier, B.: Risikogerechte Brandschutzlösungen für den mehrgeschossigen Holzbau. Dissertation TU Braunschweig; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 206, 2008, ISB 978-3-89288-189-6.
- [2] Niemann, T.: Machbarkeitsstudie zur Verwendung von Strohballen als Dämmstoff für ein 4- bis 5-geschossiges Gebäude, Diplomarbeit TU Dresden, mitbetreut durch das iBMB der TU Braunschweig, 2010
- [3] Hollmann, D.: Grundlagen und Ingenieurmodell für den Nachweis von Holzbauteilen mit Hochleistungsbrandschutzbeschichtung. Dissertation TU Braunschweig; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz; Heft 215; 2011
- [4] Hosser, D.; Kampmeier, B.: Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Holzbauteile im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveaus sowie der DIN EN 1995-1-2. Forschungsbericht im Auftrag der DGfH, Braunschweig, 2008
- [5] Promat-Handbuch: Bautechnischer Brandschutz A4, 2010
- [6] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: Z-19.11-1054 Dämmschichtbildender Baustoff PROMASEAL-PL (hart), Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) gültig bis 31.01.2014

12 Normen und Rechtsgrundlagen

ASR A2.2:2012-11	Technische Regeln für Arbeitsstätten: Maßnahmen gegen Brände
DIN 4102-8:2003-10	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 8: Kleinprüfstand
DIN EN 12667:2001-05	Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand
DIN EN 13501-2:2010-02	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen
DIN EN 14135:2004-11	Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung
MBO	Musterbauordnung in der Fassung von November 2002, zuletzt geändert im September 2012
ISO 566:2001-12	Prüfung zum Brandverhalten von Baustoffen – Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung und Massenverluste
ISO 22007-2:2008-12	Kunststoffe – Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit - Teil 2: Verfahren mit einer heißen Platte nach Gustafssons

Anhang: Brandschutzkonzepte

Tab. 1: Risikobewertung für das Referenzgebäude

Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	100 % Gipskartonplatten	5,75	5	0,2875
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine automatische Löschanlage; mobiles Löschgerät nicht vorhanden	6,75	0	0
P3	Feuerwehr	Gleichzeitige Brandbekämpfung und Personenrettung; Hilfsfrist 10-15 min; Mindestens 1 Fenster pro Nutzungseinheit anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200 - 400 m ²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschließende Bauteile	EI60 K ₂ 60*, Installationsführung entsprechend MLAR bzw. Forschungsergebnisse	6,75	4,28	0,2889
P6	Türen	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg: dichtschießend, manuell-schießend; Türen zwischen notwendigen Fluren und Rettungsweg: dichtschießend, rauchdicht, selbstschießend	6,95	1,66	0,1154
P7	Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0
P8	Fassade	Baustoffklasse: B1	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	≤ 1600 m ²	5,23	0	0
P10	Angrenzende Gebäude	5 ≤ D < 8 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	In jedem Geschoss, manuell zu öffnendes Fenster in Deckennähe	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Akustisches Signal in der Nutzungseinheit	5,06	3	0,1518
P14	Rettungswege	Eine notwendige Treppe und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; maximale Entfernung zur notw. Treppe: 35 m; Anzahl der Geschosse 5; Anzahl der NE ≥ 5; keine Orientierungshilfen, Oberflächen in Rettungswegen: Nichtbrennbar	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragende Bauteile	R60 K ₂ 60	6,31	4,26	0,2688
P16	Wartung und Schulung	Keine Anforderungen	6,01	0	0
P17	Be- und Entlüftung	Belüftungssysteme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
* Anforderung muss auch für die Bauteilanschlüsse und Einbauten nachgewiesen sein.			Summe:		2,011726
			Risikoindex (= 5 - 2,011726)		2,988274
			RISIKOINDEX		2,99

Tab. 2: Risikobewertung für einen Strohballenbau mit den neuentwickelten Bekleidungen

Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A (aber bisher kaum Erfahrung mit der Bekleidung)	5,75	4	0,2300
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine automatische Löschanlage; mobiles Löschgerät nicht vorhanden	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Gleichzeitige Brandbekämpfung, Begehung eines verrauchten Gebäudes und Personenrettung über Leitern möglich; Hilfsfrist 10 -15 min; Mindestens 1 Fenster pro Nutzungseinheit anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200 - 400 m ²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschließende Bauteile	Raumabschluss und Wärmedämmung: EI ≥ EI60*, Holzständerbauweise; brennbare Dämmung; K ₂ 60**; Installationsführung entsprechend den Erleichterungen der MLAR	6,75	4,28	0,2889
P6	Türen	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg: dichtschießend, manuell-schießend; Türen zwischen notwendigen Fluren und Rettungsweg: dichtschießend, rauchdicht, selbstschießend	6,95	1,66	0,1154
P7	Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Außenputz mit wenig Erfahrung	4,96	4	0,1984
P9	Dachraum	Fläche im Dachraum: 400 m ² ≤ a ≤ 1600 m ² , Die Grenzen der Nutzungseinheiten sind nicht fortgeführt.	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 ≤ D < 8 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Entrauchungssystem: In jedem Geschoss, manuell, Natürliche Entlüftung durch das Öffnen eines Fensters in Deckennähe	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Vernetzte Rauchmelder mit redundanter Stromversorgung	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Akustisches Signal im gesamten Gebäude	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Eine notwendige Treppe und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; maximale Entfernung zur notw. Treppe: 35 m; Anzahl der Geschosse 5, Anzahl der NE ≥ 5; keine Orientierungshilfen, Oberflächen in Rettungswegen: Oberflächen aus Bekleidung mit wenig Erfahrung	6,05	0,92	0,0557
P15	Tragende Bauteile	R60 K ₂ 60**	6,31	4,26	0,2688
P16	Wartung und Schulung	Keine Anforderungen	6,01	0	0,0000
P17	Be- und Entlüftung	Belüftungssysteme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
			Summe:		2,229511
			RISIKOINDEX (= 5 - 2,229511)		2,770489
			RISIKOINDEX		2,77

** Erweiterter Entzündungsschutz muss erfüllt und auch für die Bauteilanschlüsse und Einbauten nachgewiesen sein.